

Министерство образования и науки Российской Федерации
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего профессионального образования
**«НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ
ТОМСКИЙ ПОЛИТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»**

Инженерная школа новых производственных технологий

Направление подготовки 15.04.01 «Машиностроение»

Отделение материаловедения

МАГИСТЕРСКАЯ ДИССЕРТАЦИЯ

Тема работы
Разработка конструкции станда (общая компоновка и привод главного движения) и исследование процесса пластической деформации при алмазном выглаживании

УДК 539.374:621.923.4

Студент

Группа	ФИО	Подпись	Дата
4АМ82	Ши Цзянань		09.06.20

Руководитель ВКР

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент	Червач Ю.Б.	к.т.н		09.06.20

КОНСУЛЬТАНТЫ:

По разделу «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение»

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент	Якимова Т.Б.	к.э.н		30.05.20

По разделу «Социальная ответственность»

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Профессор	Сечин А.И.	д.т.н		30.05.20

ДОПУСТИТЬ К ЗАЩИТЕ:

Руководитель ООП	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Машиностроение	Арляпов А.Ю	к.т.н		

Томск – 2020 г.

Планируемые результаты обучения по программе

Код результата	Результат обучения (выпускник должен быть готов)
Профессиональные компетенции	
P1	Способность выбора аналитических и численных методов при разработке математических моделей машин, приводов, оборудования, систем, технологических процессов в машиностроении.
P2	Способность подготавливать технические задания на разработку проектных решений, разрабатывать эскизные, технические и рабочие проекты технических разработок с использованием средств автоматизации проектирования и передового опыта разработки конкурентоспособных изделий, участвовать в рассмотрении различной технической документации, подготавливать необходимые обзоры, отзывы, заключения.
P3	Способность изучать и анализировать необходимую информацию, технические данные, показатели и результаты работы, систематизировать их и обобщать.
P4	Способность получать и обрабатывать информацию из различных источников с использованием современных информационных технологий, уметь применять прикладные программные средства при решении практических вопросов с использованием персональных компьютеров с применением программных средств общего и специального назначения, в том числе в режиме удаленного доступа.
Универсальные компетенции	
P5	Способность выбирать оптимальные решения при создании продукции с учетом требований качества, надежности и стоимости, а также сроков исполнения, безопасности жизнедеятельности и экологической чистоты производства.
P6	Способность самостоятельно применять методы и средства познания, обучения и самоконтроля, для приобретения новых знаний и умений.

Министерство образования и науки Российской Федерации
федеральное государственное автономное образовательное учреждение
высшего образования

**«НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ
ТОМСКИЙ ПОЛИТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»**

Инженерная школа новых производственных технологий
Направление подготовки 15.04.01 «Машиностроение»
Отделение материаловедения

УТВЕРЖДАЮ:
Руководитель ООП

А.Ю.

_____ Арляпов
(Подпись) (Дата)

ЗАДАНИЕ

на выполнение выпускной квалификационной работы

В форме:

Магистерской диссертации

УДК 539.374:621.923.4

Студент:

Группа	ФИО
4AM82	Ши Цзянань

Тема работы:

Разработка конструкции станда (общая компоновка и привод главного движения) и
исследование процесса пластической деформации при алмазном выглаживании

Утверждена приказом директора (дата, номер)	28.02.2020 №59-118/с
---	----------------------

Срок сдачи студентом выполненной работы:	09.06.2020
--	------------

ТЕХНИЧЕСКОЕ ЗАДАНИЕ:

Исходные данные к работе	<p><i>Объектом исследования является разработка конструкции станка и исследование процесса алмазного выглаживания.</i></p> <p><i>Цель работы состоит в том, что определение деформационной характеристики процесса алмазного выглаживания.</i></p>
---------------------------------	--

Перечень подлежащих исследованию, проектированию и разработке вопросов	<p>Для достижения цели поставлены следующие задачи:</p> <p>1.Исследовать технологию алмазного выглаживания.</p> <p>2.Анализировать частотно-амплитудные характеристики разных материалов.</p> <p>3.Разработать конструкции станка для выглаживания.</p> <p>4.Проверить прочность важных деталей станка.</p> <p>5.Происходить эксперимент, определить деформационную характеристику процесса алмазного выглаживания.</p>
Перечень графического материала	Демонстрационный материал (презентация в MS PowerPoint)
Консультанты по разделам выпускной квалификационной работы	
Раздел	Консультант
Исследовательский	Червач Ю.Б.
Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение	Якимова Т.Б.
Социальная ответственность	Сечин А.И.
Названия разделов, которые должны быть написаны на русском и иностранном языках:	
Development of the design of the bench (general layout and drive of the main movement) and investigation of the process of plastic deformation during diamond burnishing	

Дата выдачи задания на выполнение выпускной квалификационной работы по линейному графику	10.10.2018
---	------------

Задание выдал руководитель:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент	Червач Ю.Б.	к.т.н		10.10.2018

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
4AM82	Ши Цзянань		10.10.2018

Оглавление

Реферат.....	8
Введение.....	10
1. Литературный обзор.....	12
1.1. Поверхностная технология деформационного упрочнения..	12
1.2. Сведения о поверхностном слое и поверхностном пластическом деформировании.....	13
1.3. Технология алмазного выглаживания.....	15
1.4. Державка алмазного индентора.....	18
1.5. Основные параметры процесса алмазного выглаживания....	22
1.6. Поверхность контакта инструмента и заготовки и сила выглаживания.....	23
1.7. Основное понятие вибрации при обработке.....	27
1.8. Модальность вибрации и модальный анализ вибрации.....	33
1.9. Пример объяснения модального анализа вибрации.....	35
2. Проектировка конструкции станка для алмазного выглаживания.	41
2.1 Проектирование главного привода.....	41
2.1.1. Основные требования, которым должны соответствовать компоненты шпинделя.....	43
2.1.2. Способы передачи компоненты шпинделя.....	44
2.1.3. Проектировка конструкции шпинделя.....	47
2.1.4. Подшипник качения шпинделя.....	53
2.1.5. Проектировка стакана подшипника.....	54
2.1.6. Выбор пружинного кольца.....	56
2.1.7. Проектировка крышки шпинделя.....	57
2.1.8. Выбор двигателя для главного движения станка.....	58
2.2. Выбор центров токарного станка.....	59
2.3. Проектировка опоры токарного станка.....	61
2.3.1. Функция опоры.....	61
2.3.2. Выбор материала опоры.....	62
2.3.3. Опора станины токарного станка.....	63

2.3.4. Проектировка опоры двигателя.....	65
2.3.5. Другие опоры токарного станка.....	66
2.4. Выбор резьбового крепежа.....	70
3. Технологическая часть.....	74
3.1. Обработка и сборка основания токарного станка.....	74
3.2. Обработка и сборка опор шпинделя, задней бабки и подачи.	76
4. Применение метода конечных элементов в структуре токарного станка.....	79
4.1. Анализ элемента шпинделя токарного станка.....	79
4.1.1. Создание модели и сетки шпинделя.....	79
4.1.2. Анализ статических характеристик модели шпинделя.....	81
4.1.3. Анализ прочности шпинделя.....	84
4.1.4. Модальный анализ шпинделя.....	95
4.2. Сравнение характеристик трех материалов при подавлении вибрации на токарном станке.....	99
4.2.1. Создание модели для симуляции.....	100
4.2.2. Определение параметров характеристики материала.....	100
4.2.3. Гармонический имитационный анализ модели.....	101
5. Экспериментальное планирование деформационной характеристики материала при алмазном выглаживании.....	107
Заключение.....	112
ЗАДАНИЕ ДЛЯ РАЗДЕЛА «ФИНАНСОВЫЙ МЕНЕДЖМЕНТ, РЕСУРСОЭФФЕКТИВНОСТЬ И РЕСУРСОСБЕРЕЖЕНИЕ».....	113
ЗАДАНИЕ ДЛЯ РАЗДЕЛА «СОЦИАЛЬНАЯ ОТВЕТСТВЕННОСТЬ».....	139
Development of the design of the bench (general layout and drive of the main movement) and investigation of the process of plastic deformation during diamond burnishing.....	153
Список литературы.....	166
Приложение 1.....	169

Приложение 2.....	177
-------------------	-----

Реферат

Выпускная квалификационная работа состоит из 178 листов, 41 рисунков, 30 таблиц, 7 чертежи, 2 приложения.

Ключевые слова: алмазное выглаживание, деревянный станок, деформационная характеристика процесса алмазного выглаживания.

Актуальность работы заключается в том, что деформационные характеристики процесса алмазного выглаживания до настоящего времени не исследована. Разработана конструкция деревянного станка и проведение экспериментальных исследований.

Объектом исследования является разработка конструкции станка и процесс алмазного выглаживания.

Цель работы состоит в том, что получение амплитудно-частотных характеристик процесса выглаживания. Для достижения цели поставлены следующие задачи:

- Исследовать технологию алмазного выглаживания.
- А н а л и з и р о в а т ь частотно-амплитудные характеристики разных материалов.
- Разработать конструкции станка для выглаживания.
- Проверить прочность важных деталей станка.
- Провести эксперимент, получить деформационную характеристику процесса алмазного выглаживания.

Работа представлена введением, пятью разделами и заключением.

В первом разделе «Литературный обзор» рассмотрены сведения алмазного выглаживания, державка алмазного индентора, сила при выглаживании и вибрация в машине.

Во втором разделе «Проектировка конструкции станка для алмазного выглаживания» построен деревянный станок для эксперимента. Проектированы конструкции главных деталей станка и выбор материалов детали.

В третьем разделе «Технологическая часть» описаны обработки некоторых деталей станка. Включая методы обработки, зажимы деталей и выбор инструмента.

В четвёртом разделе «Анализ методом конечных элементов компонентов станка» проанализированы прочность, жёсткость и модальная форма вибрации винты. Исследованы амплитудно-частотные характеристики материалов. Рассмотрены результаты сравнения АЧ характеристика дерева с разными материалами.

В пятом разделе «Экспериментальное планирование деформационной характеристики материала при алмазном выглаживании» проектирован эксперимент для исследования деформационной характеристики.

В заключении изложены выводы о проделанной работе и определенном направлении дальнейших исследований.

Введение

Обработка деталей машин поверхностным пластическим деформированием является одним из наиболее простых и эффективных методов упрочнения. Поверхностное пластическое деформирование повышает усталостную прочность, контактную выносливость и износостойкость деталей и тем самым увеличивает долговечность машин и оборудования.

Применение ППД с низкочастотной вибрацией обеспечивает на поверхности детали регулярный микрорельеф, снижает шероховатость, повышает несущую и опорную способность поверхностного слоя. На основании множества известных примеров практической реализации методов ППД можно прийти к выводу, что они внедрены по большей части в мелкосерийном производстве и для ответственных деталей, с повышенными требованиями по усталостной прочности, и т.д. (авиастроение, энергомашиностроение).

Наиболее простым и эффективным методом отделочно-упрочняющей обработки является алмазное выглаживание. Амплитудно-частотные характеристики процесса выглаживания до настоящего времени не исследованы. А большинство традиционных горизонтальных токарных станков, таких как токарно-винторезный станок 16К20, из-за зубчатой передаче в шпиндельной бабке, а их корпус и станина, изготовленные из чугуна, вызывают большие вибрации во время обработки. Такая большая вибрация делает невозможным конкретное изучение амплитудно-частотных характеристик процесса деформирования материала алмазным индентором.

На данной работе представлен принцип технологии алмазного
выглаживания и вибрации в машине. Для изучения механической
вибрации при выглаживании разработан специальный деревянный
станок.

1. Литературный обзор

1.1. Поверхностная технология деформационного упрочнения.

Технология обработки поверхности материала является важной отраслью материаловедения, она не изменяет состав и свойства основного материала (или не влияет на его использование), но посредством некоторых физических (в том числе механических) или химических, чтобы придать поверхности материала особые свойства для удовлетворения потребностей продукта или детали технологии и процесса. Применение технологии обработки поверхности материалов в промышленности значительно улучшило производительность, качество и срок службы изделий (особенно металлических деталей) и принесло огромные экономические выгоды, поэтому оно было оценено правительствами и научно-техническими кругами в разных странах.

Технология упрочнения поверхности относится к процессу изменения структуры поверхности материала путем применения внешней силы или термической обработки без добавления посторонних материалов на поверхность материала, что улучшает поверхностную прочность, твердость, сопротивление усталости и устойчивость к коррозии под напряжением.

Технологию упрочнения поверхности можно разделить на упрочнение деформации поверхности и упрочнение поверхностной фазы.

Упрочнение деформации поверхности относится к процессу приложения внешней силы к поверхности металлического материала

для пластической деформации тонкого слоя поверхности и измельчения зерен, тем самым улучшая усталостную прочность поверхности и стойкость к коррозии под напряжением детали. По мере увеличения степени деформации прочность и твердость металла увеличиваются, а пластическая ударная вязкость уменьшается. Это явление называется наклёпом.

Наклёп происходит из-за того, что плотность дислокаций увеличивается с увеличением степени деформации, что увеличивает сопротивление деформации. В процессе пластической деформации кристаллическая решетка вблизи поверхности скольжения искажается, и даже возникает явление разрушения зерна, которое значительно увеличивает сопротивление продолжению скольжения. Если оно продолжает деформироваться, требуется большая сила деформации, которая легко вызовет образование металла перелома. Это превращается в тот факт, что с увеличением степени пластической деформации прочность и твердость металла становятся все выше и выше, а пластичность и ударная вязкость становятся все ниже и ниже.

С одной стороны, явление наклёпа неблагоприятно сказывается на холодной деформации обработки металлов. Но, с другой стороны, это также один из способов упрочнения металлических материалов, особенно некоторых металлов, которые нельзя упрочнить методами термообработки, таких как чистый металл, аустенитная нержавеющая сталь, деформированный алюминиевый сплав и т. д.

1.2. Сведения о поверхностном слое и поверхностном пластическом деформировании.

При изготовлении и эксплуатации деталей машин на их

поверхностях образуются неровности и микронеровности, а слой металла, непосредственно прилегающий к поверхности, изменяет структуру, фазовый и химический состав, в нем возникают остаточные напряжения.

Слой металла, имеющий отличающиеся от основной массы детали структуру, фазовый или химический состав, называют поверхностным.

В условиях эксплуатации поверхностный слой детали подвергается наиболее сильному физико-химическому воздействию: механическому, тепловому, магнитоэлектрическому, световому, химическому и др. В большинстве случаев у детали начинают ухудшаться служебные свойства поверхности, например, износ, эрозия, кавитация, коррозия, усталостные трещины и другие разрушения развиваются вначале на поверхности. Поэтому к поверхностному слою предъявляются более высокие требования, чем к основной массе детали. А обработка поверхностным пластическим деформированием является одним из наиболее простых и эффективных способов повышения эксплуатационных показателей детали и ее поверхностного слоя, в частности.

Поверхностное пластическое деформирование основано на способности металлической поверхности воспринимать остаточные пластические деформации без нарушения целостности металла. Поверхностное пластическое деформирование – один из наиболее простых и эффективных технологических путей повышения работоспособности и надежности деталей машин. В результате поверхностного пластического деформирования повышаются твердость и прочность поверхностного слоя, формируются благоприятные остаточные напряжения сжатия, уменьшается параметр шероховатости R_a , увеличивается радиус закругления

вершин микровыступов, относительная опорная длина профиля микронеровностей и т.п. Поверхностное пластическое деформирование деталей применяется во всех типах производства. Формирование поверхностного слоя с заданными свойствами должно обеспечиваться технологией упрочнения.

Поверхностное пластическое деформирование обеспечивает изменение структуры металла, но без его полной рекристаллизации. Важной характеристикой состояния поверхностного слоя являются остаточные напряжения.

Остаточное напряжение относится к внутреннему напряжению, которое остается в детали после устранения внешних сил или неравномерных температурных полей. Остаточные сжимающие напряжения, возникающие в поверхностном слое, повышают циклическую прочность деталей, так как они разгружают поверхностные слои от напряжений, вызванных нагрузками.

1.3. Технология алмазного выравнивания

Обычные методы, такие как шлифование, широко используются в чистовых обработках, требующих превосходного качества поверхности и точности размеров, однако качество обработанных поверхностей деталей становится все более важным фактором в инженерных решениях, а с помощью традиционных процессов труднее получить высококачественные свойства. Микроструктурное повреждение или плохое качество поверхности часто может привести к критическому отказу одной части компонента, а в худшем случае может быть поврежден весь компонент из-за одной детали. Выравнивание является одной из новых технологий отделки, которая служит альтернативой традиционным процессам шлифования [6].

Алмазное выравнивание — Это относится к процессу приложения внешней силы к поверхности металлических материалов с помощью алмазной головки для пластической деформации тонкого слоя и измельчения зерен, тем самым улучшая усталостную прочность поверхности и стойкость к коррозии под напряжением детали. Кинематика процесса алмазного выравнивания аналогична более распространенным процессам обкатывания при помощи роликов, хотя контакт при алмажном выравнивании скользит, а не катится. Инструмент для алмазного выравнивания обычно используется в линейных применениях, то есть на цилиндрических заготовках [6]. Поверхностный слой обработанного элемента подвергается холодной пластической деформации, и это придает соответствующие свойства: шероховатость поверхности уменьшается, в поверхностном слое создаются сжимающие напряжения, которые становятся более твердыми. Такое состояние поверхностного слоя улучшает многие полезные свойства, в частности усталостную прочность. Например, Бенедетти и соавт. (2002) обнаружили четкую зависимость усталостной прочности от состояния напряжения в поверхностном слое [7].

Впервые представленная в 1962 году компанией General Electric, алмазное выравнивание остается одним из самых простых и эффективных методов обработки. Он широко используется в авиационной промышленности, судостроении, автомобилестроении и в других местах [4].

Чтобы сделать обработку возможной без чрезмерного тепловыделения, такой инструмент должен быть изготовлен из материала с низким коэффициентом трения скольжения по металлам. Алмаз такой материал. Он также показывает очень высокую твердость, что позволяет обрабатывать даже самые твердые металлы

и их сплавы [8]. Способ выглаживания поверхностей алмазными наконечниками можно применять при обработке заготовок из металлов различной твердости, включая закаленные стали, и нельзя для обработки титановых сплавов, циркония и ниобия, что связано со специфическими свойствами этих металлов и возможным взаимодействием их с алмазом [9]. Алмазные инструменты очень экономичны для получения зеркальных поверхностей на обработанных поверхностях. Они особенно подходят для выглаживания валов и плоских поверхностей. Этот метод может быть использован для обработки внутренних и внешних цилиндрических поверхностей. С помощью алмазного выглаживания можно улучшить шероховатость поверхности ($R_a = 0,03-0,2$ мкм) и поверхностную прочность. Таким образом, выглаживание поверхности не только заменяет традиционные технологии обработки поверхности (например, шлифовка и полировка), но во многих случаях оказалась более эффективной [5].

При алмазном выглаживании деформирующим инструментом является кристалл алмаза, находящийся в специальной оправке. Закрепляется алмаз чаще всего пайкой при помощи серебряного припоя, имеющего сравнительно низкую температуру плавления ($600-650^{\circ}\text{C}$). Универсальный выглаживатель (рис.1) состоит из оправки 1 и алмаза 2. Выглаживатель монтируется в специальном приспособлении, устанавливаемом в резцедержателе токарного станка. Давление при выглаживании с упругим контактом обычно создается с помощью тарированной пружины. При вращении обрабатываемой детали продольную подачу имеет инструмент. Выглаживание производится в условиях трения скольжения. Ввиду высокой твердости алмаза выглаживание успешно применяется для отделочно-упрочняющей обработки деталей из различных

материалов и, в частности, из закаленных сталей в разных структурных состояниях [1].

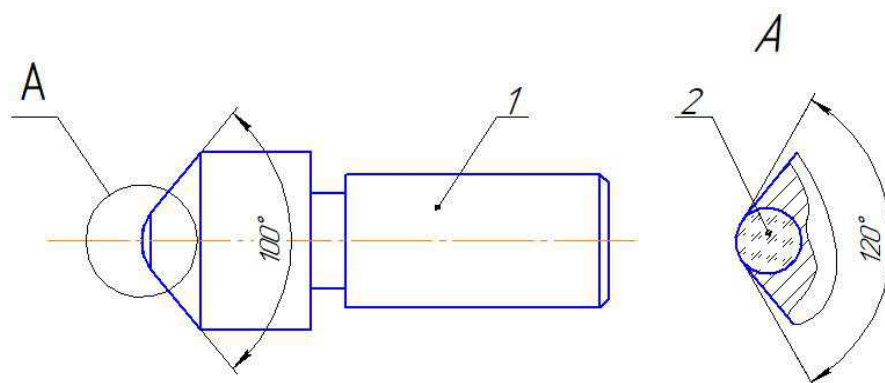


Рис. 1. Алмазный выравниватель

При выравнивании алмаз практически не деформируется. По экономическим и техническим причинам алмазные инструменты для выравнивания изготавливаются небольших размеров [8]. В практике применяются выравниватели с радиусом сферы алмаза 0,5-3,5мм, поверхность контакта инструмента с деталью оказывается незначительной. Это обуславливает создание высоких контактных давлений, необходимых для свершения пластической деформации при небольших нормальных силах [1].

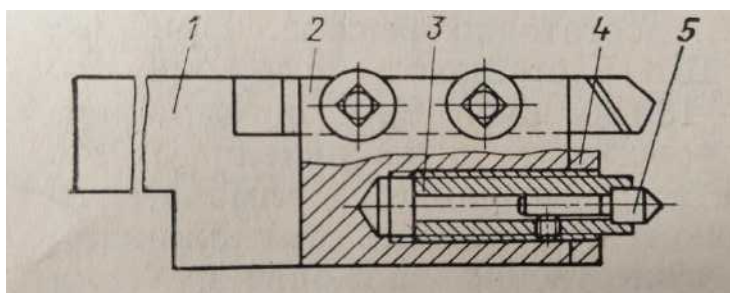
1.4. Державка алмазного индентора.

Выравнивающий инструмент поджимается к обрабатываемой детали с определенным усилием. Для получения требуемой шероховатости и степени упрочнения необходимо поддерживать усилие в слишком узком диапазоне. Отклонение силы выравнивания приводят либо к недостаточной величине упрочнения, либо к переупрочнению поверхностного слоя, а также к увеличению шероховатости поверхности.

Наиболее часто алмазное выравнивание осуществляют на

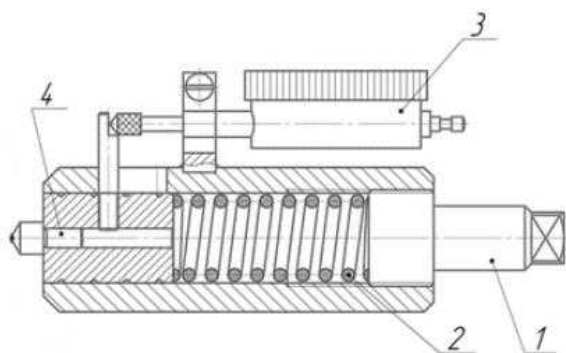
токарных станках. Применяются две принципиальные схемы закрепления индентор: жёсткая и гибкая. Жёсткая подразумевает не подвижность алмазного индентора, относительно резцедержателя станка, при этом погрешности формы и установки детали приводят к значительным колебаниям усилия выглаживания, приводя к неоднородности твердости и шероховатости поверхностного слоя. Чаще выполняются гибкие инструменты. Гибкое закрепление индентора позволяет избежать значительного колебания усилия, при изменении радиуса обрабатываемой детали. Ниже показаны различные державки выглаживания и их особенности.

- Державка для одновременного точения и выглаживания.



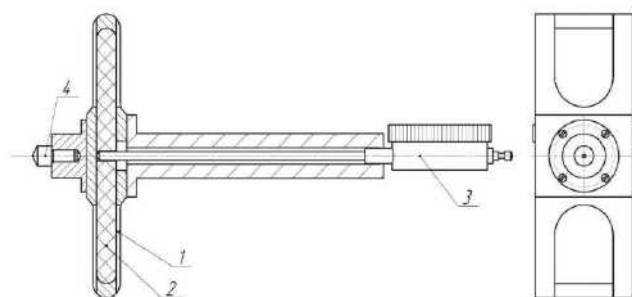
При жестком контакте вследствие биения детали, деформирующие напряжения будут изменяться. Поэтому выглаживание с жестким контактом целесообразно производить на станках повышенной жесткости и по возможности одновременно с предшествующей обработкой. В резцедержателе станка закрепляют специальную державку 1 с установленными в ней резцом 2 и алмазным выглаживателем 5 с резьбовой втулкой 3. Выглаживатель фиксируется гайкой 4.

- Оправка с силовым элементом в виде винтовой пружины.



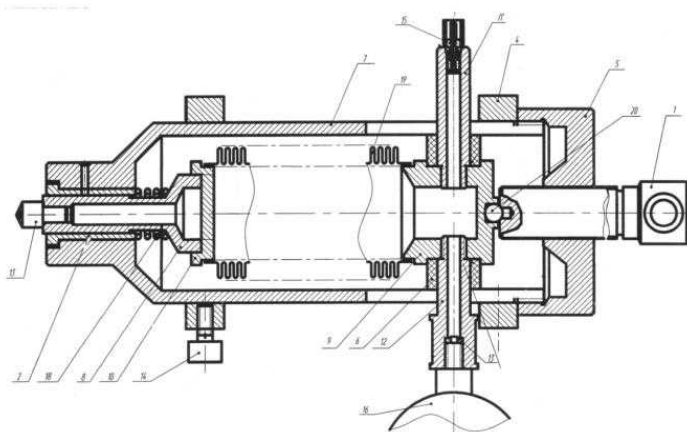
Элементы конструкции оправки с винтовой пружиной включают в себя: регулировочный винт (1), винтовую пружину (2), индикаторную головку часового типа (3) и алмазный индентор во втулке (4).

- Оправка с силовым элементом в виде плоской пружины.



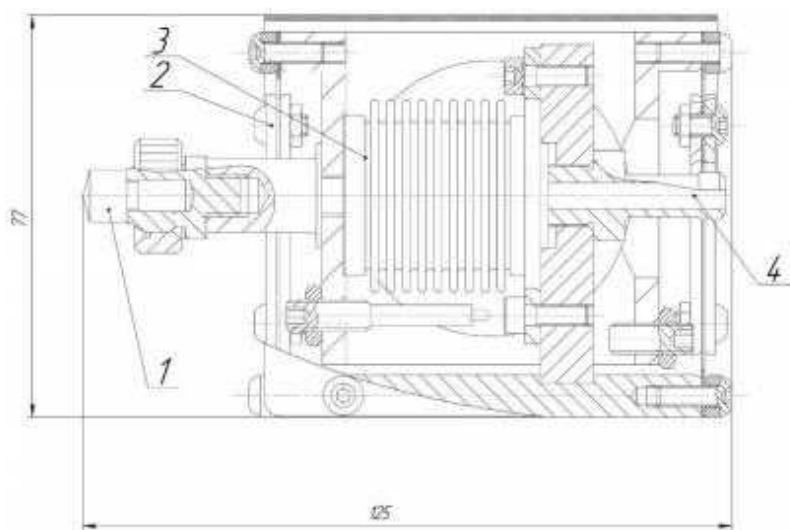
Конструкция оправки: плоская пружина упругой опоры (1), пенополиуретановый демпфер (2), индикаторная головка часового типа (3), алмазный индентор.

- Оправка с силовым элементом в виде пневматической пружины.



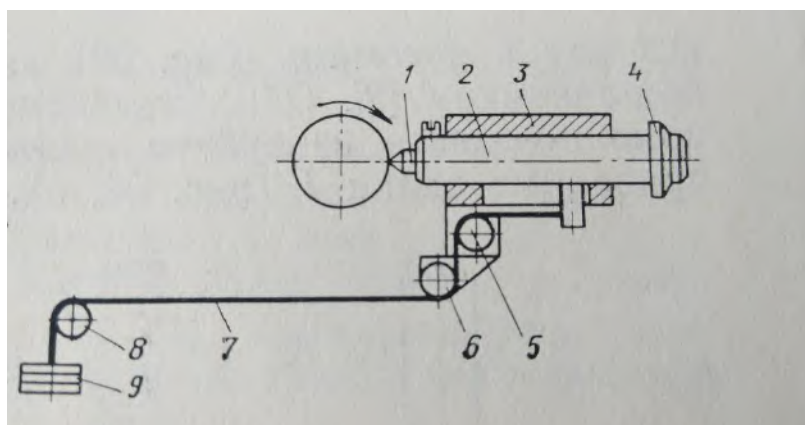
Основные элементы конструкции оправки с силовым элементом в виде пневматической пружины: алмазный индентор (13), пневматический сиффон (19), манометр низкого давления (16).

- Оправка с силовым элементом в виде пневматической пружины и гибкой опорой.



Конструкция оправки с силовым элементом в виде пневматической пружины и гибкой опорой: алмазный индентор, во втулке (1), гибкая пружинная опора (2), пневматический сиффон (3), подвод давления от сиффона (4).

- Схема выравнивания фасонных и конических поверхностей.



Выглаживание фасонных и конических поверхностей может производиться по корпусу с постоянным поджимом выглаживателя к обработанной поверхности при помощи груза. В корпусе державки 3

помещен подвижный шток 2 с закрепленным в ней выглаживателем 1. Сила выглаживания создается грузом 9 с помощью тросика 7, второй конец которого закреплен на серьге штока. Неподвижный блок 5 смонтирован в кронштейне в передней части корпуса. Блок 6, жестко связанный со специальной втулкой (не показанной на схеме), может поворачиваться вокруг вертикальной оси, что требуется при выглаживании поверхностей с большим углом конуса.

1.5. Основные параметры процесса алмазного выглаживания.

При алмазном выглаживании шероховатость обработанной поверхности и упрочнение детали зависят от параметров процесса. При правильно заданных параметрах обработки деталь приобретает высокие эксплуатационные свойства. И, наоборот, неудачный выбор даже одного из параметров, например давления, может вызвать частичное разрушение поверхности (отслаивания) и понизить долговечность детали.

Основными параметрами процессов выглаживания являются следующие: 1) среднее давление в контакте p ; 2) контактная площадь F_k ; 3) величина нормальной силы, передаваемой со стороны инструмента на обрабатываемую поверхность; 4) размеры деформирующего инструмента R ; 5) продольная подача s ; 6) скорость обработки v . Первые два параметра, определяющие эффективность упрочнения, зависят от силы, размеров инструмента, свойств материала и размеров обрабатываемой детали. Продольная подача влияет на шероховатость обрабатываемой поверхности и на равномерность деформации в осевом направлении. Кроме того, подача определяет количество повторных деформаций каждого

участка поверхности, что оказывает влияние на упрочнение и остаточные напряжения. От скорости обработки зависят протекание процесса деформации в очаге и градиент наклепа, а также количество образующейся теплоты. К остальным параметрам обработки относятся число рабочих ходов и род смазки.

В.В.Попова написала оптимальные режимы выглаживания в своей книге [10].

Таблица 1 – Оптимальные режимы выглаживания

Твердость обрабатываемого материала	Параметр шероховатости исходной поверхности Ra, мкм	Радиус рабочей части алмаза или композита, мм	Режим обработки			Параметр шероховатости обработанной поверхности Ra, мкм
			нормальная сила, Н	подача, мм/об	скорость, м/мин	
50...65HRC	0,20	1,3...2,0	200–250	0,02–0,04	50-100	0,050
	0,10		150–200			0,050
	0,050		120-150			0,025
30...50HRC	0,40	1,5...2,0	120-150	0,03-0,05	50-100	0,10
	0,20		120-150			0,025-0,050
	0,10		100-120			0,025
20...30HRC	1,60	2,0...2,5	120-150	0,03-0,08	50-200	0,20-0,40
	0,80		100-120			0,10-0,20
	0,40		80-100			0,050-0,10
менее 300HB	0,80	2,5...3,5	120-150	0,06-0,10	50-200	0,20
	0,40		100-120			0,10
	0,20		80-100			0,050-0,10
	0,10		80-100			0,025-0,050
	0,005		60-80			0,025

1.6. Поверхность контакта инструмента и заготовки и сила выглаживания.

Модель показана на Рис. 2 был использован для анализа кинематических зависимостей в процессе полирования скольжения. В первом приближении предполагалось следующее: $l = f / 2$, отсутствие упругой деформации, отсутствие разбухания впереди и отсутствие вспышки за инструментом.

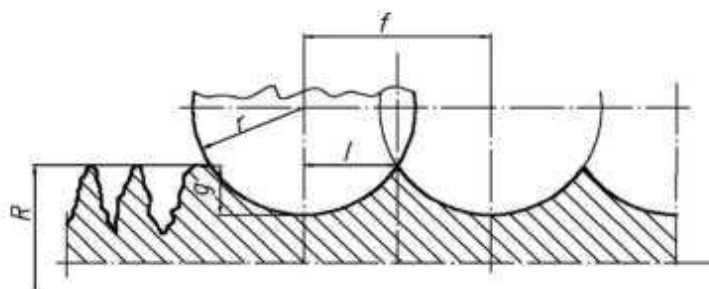


Рис. 2. Модель алмазного выравнивания, r - радиус инструмента, f - подача, l - длина зоны контакта вдоль направления подачи, g - величина пластического вмешательства инструмента в поверхность (глубина выравнивания), R - радиус заготовки.

Исходя из этих предположений, из геометрических зависимостей на рис. 2 следует, что:

$$\left(\frac{f}{2}\right)^2 = r^2 - (r - g)^2$$

Решив приведенное выше уравнение, можно получить формулу, которая позволяет определить степень подачи.

$$f = 2l = \sqrt{8rg - 4g^2}$$

и, игнорируя минимумы высшего порядка, можно получить формулу:

$$f = 2l = \sqrt{8rg}$$

из которого для конкретного пластического вмятина в обрабатываемую поверхность, выполненную с помощью инструмента с радиусом r , можно рассчитать длину поверхности контакта инструмента и подачу.

Известно, что для обеспечения хороших результатов выравнивания необходимо выполнять механическую обработку, чтобы каждая точка выравниваемой поверхности не деформировалась слишком много раз. Обычно один проход

инструмента и соответственно выбранная подача применяются так, чтобы кратность деформации каждой точки выглаживанной поверхности была меньше 10[7]. El-Axir и соавт. (2008) пишут, что чрезмерное количество проходов приводит к увеличению средней шероховатости полированной поверхности, а Yeldose и Ramamoorthy (2008) обнаружили, что чрезмерное количество проходов инструмента вызывает отслаивание. Таким образом, соответствующий уровень подачи должен быть применен. Уменьшение подачи при постоянной глубине выглаживания g приведет к пропорциональному увеличению коэффициента умножения. Из представленной выше формулы следует, что при глубине вдавливания пластика в пределах высоты шероховатости обработанной поверхности (согласно мнению, представленному Korzynski (2007) и Shiou и Chuang (2010), это оптимальная глубина пластической интерференции при чистовой полировке) то есть, когда g составляет от 4 до 8 мм и когда S_z составляет от 1,5 до 3 мкм (типичные значения после шлифования; шлифование применяется до выглаживания), длина контактной дорожки $2l$ составляет от 0,2 до 0,4 мм. Таким образом, для получения адекватного (2–8) коэффициента умножения необходимо применять подачу 0,05–0,10 мм / об [7].

При упругой выглаживании под давлением вмешательство инструмента контролируется путем выбора соответствующей силы давления инструмента. Его следует выбирать таким образом, чтобы напряжения в области контакта были выше, чем предел текучести обработанного материала. Таким образом, значение силы зависит от размера области контакта, образуемой вследствие взаимодействия заготовки и инструмента во время обработки (и от свойств обрабатываемого материала, если предположить, что материал

инструмента из недеформируемой). Зона контакта, которая образуется в результате взаимодействия двух роликов перпендикулярных образующих линий, имеет форму круга. В первом приближении были сделаны следующие предположения для анализа проблем, связанных с областью контакта:

- $g \ll r$
- $R > r$
- угол между осью выглаживателя и осью заготовки составляет 90°
- инструмент изготовлен из идеально жесткого материала (пластических деформаций нет).

Для такой модели процесса площадь контакта может быть выражена как:

$$A = \pi a^2 = 2\pi r g$$

где r – радиус инструмента.

g – глубина вдавливания.

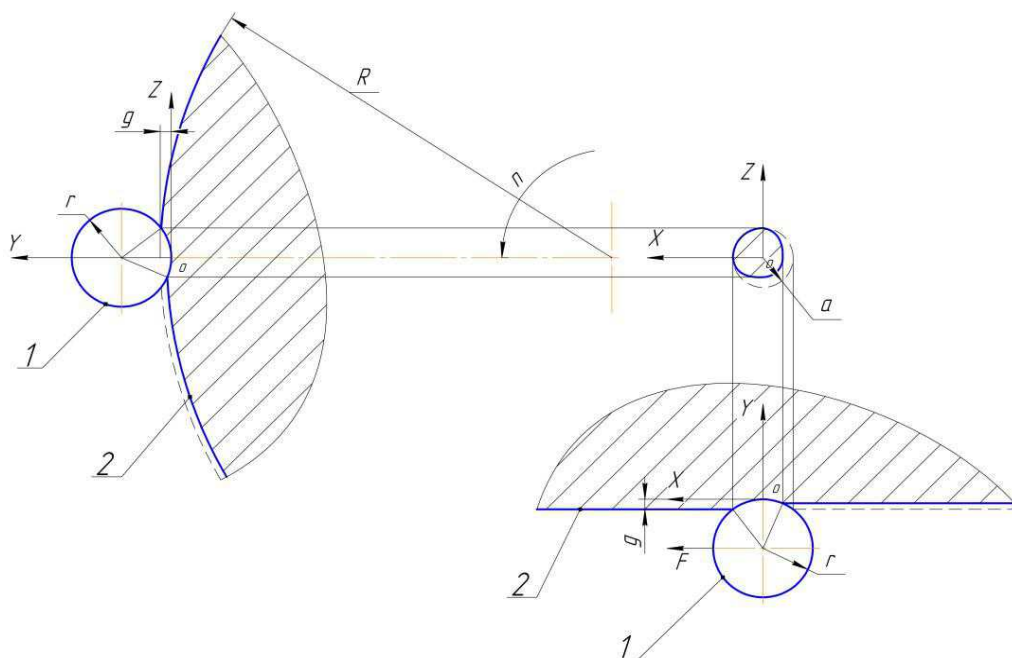


Рис. 3. Зона контакта (A) между инструментом и деталью: 1 -инструмент, 2 -деталь, r - радиус инструмента, g - величина пластического вмешательства инструмента в выглаживаемую поверхность, R - радиус детали, n - скорость

вращения детали, f - подача инструмента.

Это установленный факт, что при выглаживании пластические деформации ответственны за деформацию контактного круга, как показано на рис. 3, что указывает на то, что фактическая площадь контакта при выглаживании будет меньше, чем A . Если обрабатываемый материал был из пластика (без вспышки спереди и сзади), то при одинаковой интерференции инструмента и радиусе его закругления площадь контакта составила бы 0,25 от расчетной площади круга. В случае идеально упругого обработанного материала площадь контакта будет такой же, как у расчетного круга. На практике площадь контакта поверхности будет иметь значение где-то между ними и будет зависеть от упругих и пластических свойств обрабатываемого материала.

Таким образом, сила выглаживания цилиндрическим инструментом должна составлять:

$$F > \sigma_y A = c \sigma_y 2\pi r g$$

где c – коэффициент уменьшения поверхности (от 0,25 до 1),

σ_y – предел текучести обрабатываемого материала,

A - площадь контакта с инструментом.

1.7. Основное понятие вибрации при обработке.

Вибрация при обработке обычно вызывает относительное смещение между инструментом и обрабатываемой деталью, что серьезно нарушает нормальную траекторию движения между обрабатываемой деталью и инструментом. Вибрация не только ухудшает качество поверхности станка, но также сокращает срок службы инструмента и станка. В серьезных случаях обработка не может быть выполнена. Часто, чтобы избежать вибрации, режим

резания должен быть уменьшен, тем самым снижая производительность. В то же время из-за сильного шума, создаваемого вибрацией, работник не только легко устает, тело и разум получают повреждения, эффективность работы снижается, а окружающая среда загрязняется.

В зависимости от характера вибрации технологической системы вибрация классифицируется:

1. Свободная вибрация — вибрация системы, обусловленная начальным запасом механической энергии и происходящая без воздействия вынуждающей силы или поступления энергии извне.

2. Вынужденная вибрация — вибрация технологической системы под действием внешней силы возбуждения.

3. Самовозбужденная вибрация — система процесса имеет характеристики обратной связи между входом и выходом, и при добавлении энергии возникает вибрация.

I .Вынужденная вибрация при обработке.

Источник вибрации для вынужденной вибрации при обработке имеет два типа: внутренний источник вибрации с внутренней стороны станка и внешний источник вибрации с внешней стороны станка. Внешний источник вибрации в основном передается станку через фундамент и может быть изолирован путем добавления виброизоляционного фундамента. Основными источниками вибрации в машине являются:

1. Высокоскоростные вращающиеся части машины не сбалансированы. Периодическая сила возбуждения, вызванная дисбалансом вращения ротора двигателя, шкива и обрабатываемой детали, вызывает вынужденную вибрацию во время процесса

обработки.

2. Дефект механизма привода машины. Изготовление неточных или плохо смонтированных зубчатых колес, неравномерная толщина ремня и т. д., Вызывающих вынужденную вибрацию.

3. Воздействие в процессе резки. При фрезеровке, протяжке и т. д. На зубы воздействуют, когда они врезаются или вырезаются из заготовки. На обрабатываемой прерывистой поверхности также могут возникать вынужденные вибрации из-за периодических ударов.

4. Инерционная сила возвратно-поступательного компонента. В станках с поршневыми элементами инерционный удар, возникающий при изменении направления поршневых элементов, часто является основным источником воздействия при обработке таких станков.

II. Самовозбужденная вибрация при обработке.

Самовозбуждение вибрации имеет следующие характеристики по сравнению с вынужденной вибрацией:

1. Самовозбуждение при обработке — это вибрация, создаваемая помехой без периодической внешней силы (относительно процесса резки), которая в принципе отличается от вынужденной вибрации.

Система обработки станков представляет собой замкнутую систему, состоящую из системы вибрации и системы регулировки, как показано на рисунке 10. Переменная сила, которая стимулирует систему станков генерировать вибрационное движение, создается процессом резания, и на процесс резания также влияет вибрация системы станков. Как только вибрационное движение системы станков останавливается, переменная сила резания исчезает. Если

процесс резки является плавным, даже если в системе имеется условие для самовозбуждающейся вибрации, переменная сила резания не возникает из-за процесса резания, и самовозбуждающаяся вибрация не создается. Однако в реальном процессе обработки всегда существуют случайные внешние возмущения (такие как неравномерная твердость материала заготовки, изменения в допусках обработки и т. д.), и изменение силы резания, возникающее в результате таких случайных внешних возмущений, действует на систему станков. Это заставит систему вибрировать. Это вибрационное движение, создаваемое системой, вызывает периодическое изменение относительного положения между заготовкой и инструментом, что приводит к переменному усилию резания, которое поддерживает вибрационное движение во время процесса резания. Если в технологической системе отсутствуют условия для самовозбуждающейся вибрации, вынужденная вибрация, вызванная случайным внешним возмущением, будет постепенно затухать из-за демпфирования системы. Если технологическая система имеет самовозбуждающиеся условия вибрации, это может вызвать непрерывное колебательное движение системы обработки станка.

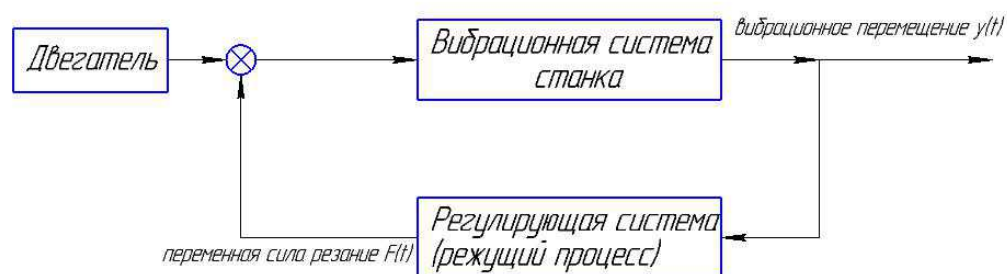


Рис. 4. Самовозбужденная вибрационная замкнутая система

Энергия для поддержания самовозбуждающейся вибрации

поступает от двигателя станка. В дополнение к энергии для резки и резки, двигатель также передает энергию в систему вибрации в процессе резки, заставляя систему станка генерировать вибрационное движение.

2. Частота самовозбуждения вибрации близка к определенной собственной частоте системы, которая зависит от внутренних характеристик вибрационной системы. Это отличается от вынужденной вибрации, которая зависит от частоты внешних помех.

3. Свободная вибрация будет ослаблена эффектом демпфирования, а самовозбуждающаяся вибрация не уменьшится до нуля из-за наличия демпфирования.

Увеличение или уменьшение амплитуды самовозбуждающейся вибрации определяется знаком разности между энергией, получаемой вибрационной системой, и энергией, потребляемой в каждом периоде вибрации. Из рис. 5 видно, что в период вибрации, если энергия E_r , полученная вибрационной системой, равна энергии E_z , потребляемой системой, самовозбуждающаяся вибрация является устойчивым движением равной амплитуды с амплитудой OB . Когда амплитуда равна OA , энергия E_r , полученная от двигателя в каждом периоде вибрации вибрационной системы, больше, чем энергия E_z , потребляемая вибрацией, и амплитуда будет увеличиваться до тех пор, пока амплитуда OB не увеличится, в противном случае, когда амплитуда равна OC , Вибрационная система получает меньше энергии от двигателя за период вибрации, чем энергия, потребляемая вибрацией, и амплитуда непрерывно уменьшается, пока не уменьшится до амплитуды OB .

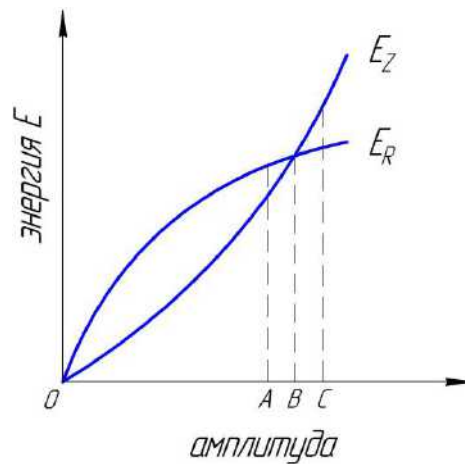


Рис. 5. Энергетические отношения вибрационной системы

III. Условия для генерации самовозбуждения вибрации при обработке.

Если во время периода вибрации вибрационная система получает больше энергии от двигателя, чем вибрационная система использует для работы во внешнем мире. Если разница между этими двумя значениями просто превышает энергию, потребляемую демпфирование во время вибрации, система будет иметь вибрацию движения с равной амплитудой.

На рисунке 6 показана модель системы вибрации с одной степенью свободы. Система вибрации соединена с системой держателя инструмента и вибрирует только в направлении оси y . Для простоты анализа роль демпфирования системы в настоящее время не рассматривается.

Анализ рисунок 6 показывает, что в полупериоде вибрационной системы держателя инструмента, вибрирующей в заготовку, ее вибрационное смещение $y_{\text{вход}}$ противоположно радиальной силе резания $F_{\text{увход}}$, а сила резания отрицательна (эквивалент вибрации системы держателя инструмента будет сжат). Пружина k освобождается вибрационным движением, чтобы высвободить

накопленную энергию, и в полупериоде вибрации вибрирующей системы держателя инструмента ее вибрационное смещение $y_{\text{выход}}$ совпадает с радиальным усилием $F_{y\text{выход}}$ резания, и сила резания выполняет положительную работу. (Эквивалентно системе вибрации держателя инструмента для получения энергии путем сжатия пружины k посредством действия вибрации). Только если положительная работа больше, чем отрицательная работа, или если только энергия, полученная системой, больше, чем энергия, выделяемая системой внешнему миру, система может поддерживать самовозбуждение вибрации. Это $E_r > E_z$.

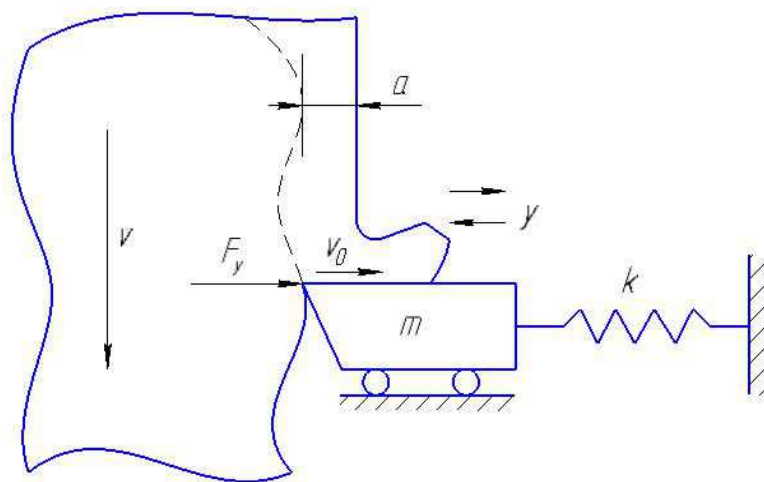


Рис. 6.

1.8. Модальность вибрации и модальный анализ вибрации

Когда структурная система получает движение от внешнего возбуждения, она, естественно, будет вибрировать на определенной частоте. Эта конкретная частота называется собственной частотой структуры. Обычно структура имеет много собственных частот. Собственная частота не имеет ничего общего с внешним возбуждением и является неотъемлемым свойством структуры. Независимо от того, возбуждается ли структура внешней средой, собственная частота структуры существует, но, когда внешняя среда

возбуждается, структура генерирует вибрационный отклик в соответствии с собственной частотой.

Модальность вибрации — это естественные характеристики вибрации конструкции, каждая из которых имеет свою собственную частоту, коэффициент демпфирования и форму модальности. Эти модальные параметры могут быть получены расчетным или экспериментальным анализом, такой процесс расчета или экспериментального анализа называется модальным анализом. Если этот процесс анализа получается методом расчета конечных элементов, он называется вычислительным модальным анализом, а если входные и выходные сигналы собранной системы проверяются для получения модальных параметров посредством идентификации параметров, он называется экспериментальным модальным анализом.

Модальность вибрации являются неотъемлемыми и общими характеристиками упругих структур. Если метод модального анализа используется для понимания характеристик основных модальности структуры в определенном восприимчивом частотном диапазоне, можно предсказать фактическую вибрационную реакцию структуры в этой полосе при различных внешних или внутренних источниках вибрации. Следовательно, модальный анализ является важным методом динамического проектирования конструкций и диагностики неисправностей оборудования.

Фактические модальности вибрации машин, зданий, аэрокосмических транспортных средств, кораблей и автомобилей различны. Модальный анализ обеспечивает эффективный способ изучения различных характеристик вибрации. Во-первых, структура искусственно возбуждается в состоянии покоя. Измеряя силу возбуждения и отклик и выполняя двухканальный анализ быстрого

преобразования Фурье (БПФ), определяют механическую функцию проводимости (передаточную функцию) между любыми двумя точками. Теория модального анализа используется для идентификации модальных параметров структуры путем подгонки кривой экспериментальной функции проводимости, тем самым устанавливая модальную модель структуры. Согласно принципу модальной суперпозиции, когда известна различная история времени загрузки, можно предсказать историю отклика или спектр отклика фактической вибрации конструкции.

За последние десять лет, благодаря развитию компьютерных технологий, FFT-анализатора, высокоскоростной системы сбора данных, датчика вибрации, возбудителя и других технологий, экспериментальный модальный анализ быстро развивался. Он был высоко оценен многими промышленными секторами, такими как машиностроение, электричество, строительство, водное хозяйство, авиация и авиакосмическая промышленность. Аппаратное и программное обеспечение для модального анализа различных классов и принципов были выпущены. Целью модального анализа является определение модальных параметров системы, которые обеспечивают основу для анализа вибрационных характеристик, диагностики и прогнозирования вибрационных повреждений и оптимального проектирования структурных динамических характеристик конструктивных систем.

1.9. Пример объяснения модального анализа вибрации

Рассмотрим свободно поддерживаемую пластину и приложим постоянное усилие к одному углу пластины. Здесь применяется колебательное постоянное усилие, которое изменяется

синусоидально и имеет фиксированную частоту. Частота вибрации этой силы изменяется, но пиковое значение силы остается неизменным, изменяется только частота вибрации силы. В то же время датчик ускорения установлен в другом углу пластины, чтобы измерить отклик пластины, вызванную силой возбуждения.

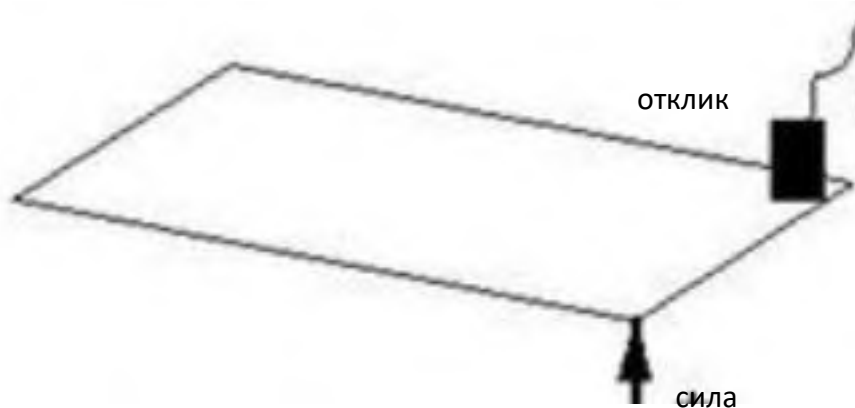


Рис 7.

Теперь измерьте отклик пластины и обратите внимание, что амплитуда отклика пластины изменяется с частотой колебаний силы возбуждения. С течением времени амплитуда отклика увеличивается и уменьшается на разных частотах. Это кажется странным, потому что мы применяем постоянную силу к системе, а изменение амплитуды отклика зависит от частоты вибрации силы возбуждения. Когда частота вибрации силы возбуждения, которую мы применяем, ближе к собственной частоте (или резонансной частоте) системы, амплитуда отклика будет становиться все больше и больше, и максимальное значение будет достигаться, когда частота вибрации силы возбуждения равна резонансной частоте системы.

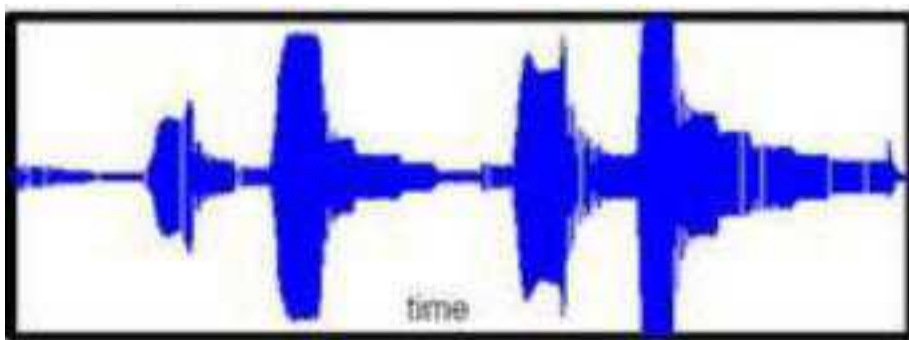


Рис 8.

Данные во временной области предоставляют очень полезную информацию, но, если используете быстрое преобразование Фурье (БПФ) для преобразования данных во временной области в частотную область, можете вычислить так называемую функцию амплитудно-частотной характеристики. Обратите внимание, что пики функции АЧХ появляются на резонансной частоте системы. Эти пики функции АЧХ появляются на частоте, при которой амплитуда наблюдаемого сигнала отклика во временной области достигает максимума.

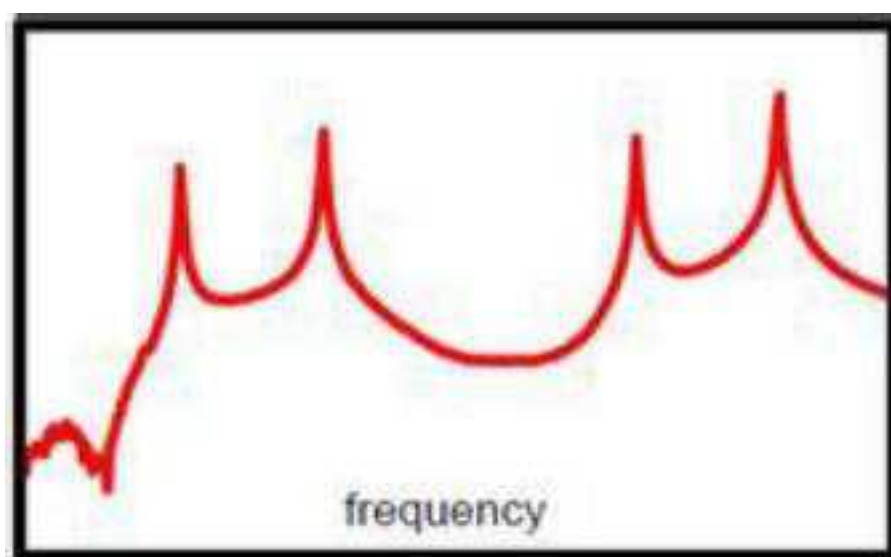


Рис 9.

Если мы наложим функцию частотной характеристики на форму волны во временной области, мы обнаружим, что частота вибрации силы возбуждения, когда амплитуда формы волны во

временной области достигает максимального значения, равна частоте на пике функции частотной характеристики. Следовательно, можно видеть, что обе собственные частоты системы могут быть определены с использованием сигналов во временной области, и эти собственные частоты также могут быть определены с использованием функций частотной характеристики. Очевидно, что функция частотной характеристики легче оценить собственную частоту системы. И на разных собственных частотах моды деформации, представленные структурой, также различны, и эти моды деформации зависят от частоты возбуждающей силы.

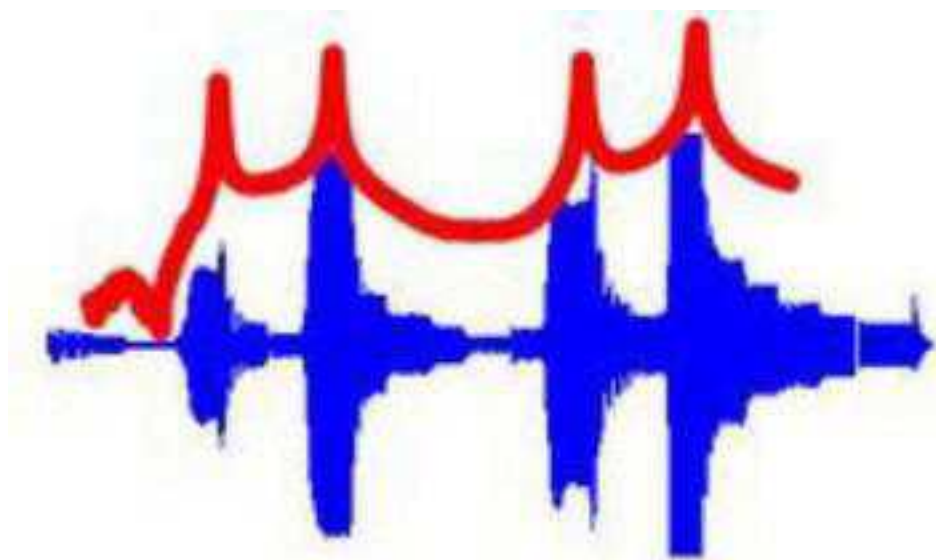


Рис 10.

Сейчас мы изучаем моды деформации структуры на каждой собственной частоте. 45 акселерометров равномерно распределены на пластине для измерения амплитуды отклика пластины на разных частотах возбуждения. Если сила возбуждения находится на каждой собственной частоте структуры, то будет обнаружено, что сама структура имеет определенную моду деформации. Эта особенность указывает на то, что, когда частота возбуждения равна определенной собственной частоте системы, это вызовет соответствующую моду деформации структуры. Мы заметили, что, когда частота

возбуждения находится на собственной частоте первого порядка, пластина подвергается деформации изгиба первого порядка, которая показана синим цветом на рисунке 11. При нахождении на собственной частоте второго порядка происходит крутильная деформация пластины первого порядка, которая показана на рисунке красным цветом. При нахождении на 3-й и 4-й собственных частотах структуры, соответственно, пластина подвергается деформации изгиба второго порядка, показанной зеленым на фигуре, и деформации скручивания второго порядка, показанной красно-фиолетовым красным на фигуре. Эти моды деформации называются модальной формой вибрации структуры. С практической точки зрения эти моды деформации очень близки к модальным формам.

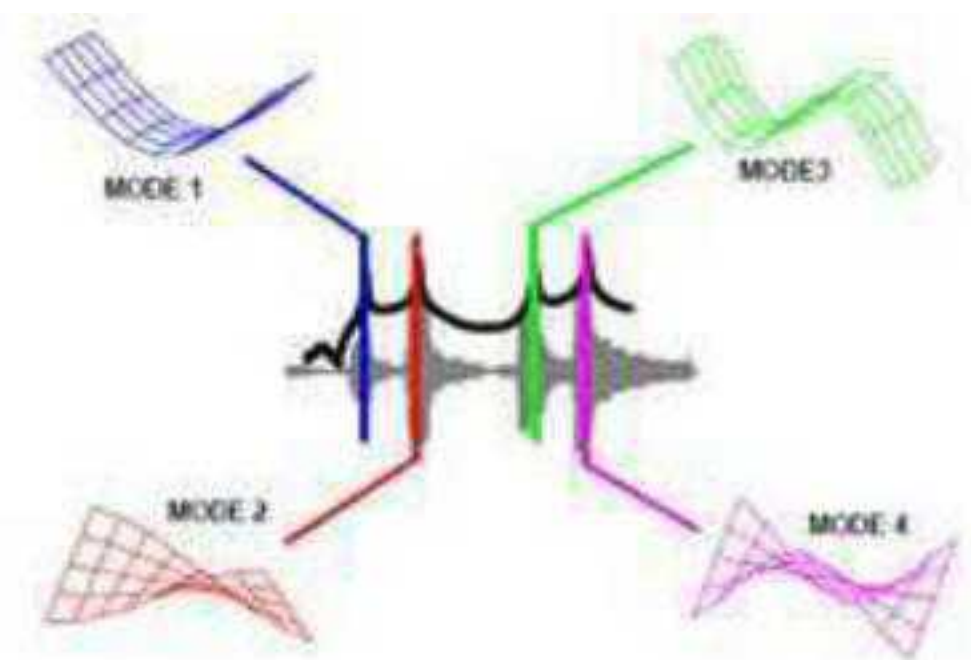


Рис 11.

Все конструкции, которые мы проектируем, имеют свои собственные частоты и модальные формы вибрации. По существу, эти характеристики зависят от качества конструкции и распределения жесткости, которые определяют собственную частоту

и модальную форму вибрации конструкции. Понимание модальной формы и того, как конструкция вибрирует, помогает инженерам-проектировщикам проектировать лучшие конструкции. Понимание собственных частот и модальных форм вибрации (в зависимости от распределения массы и жесткости конструкции) помогает проектировать конструкционные системы для применения в условиях шума и вибрации.

2. Проектировка конструкции станка для алмазного выглаживания.

Большинство традиционных горизонтальных токарных станков, таких как токарно-винторезный станок 16К20, из-за зубчатой передаче в шпиндельной бабке, а их корпус и станина, изготовленные из чугуна, вызывают большие вибрации во время обработки. Такая большая вибрация делает невозможным конкретное изучение взаимосвязей вибрации между инструментами и деталями во время алмазного выглаживания. Таким образом, нужно спроектировать простой, недорогой токарный станок для изучения этого предмета.

Основная функция металлорежущих станков - обеспечить необходимое движение и мощность для резания. Основной принцип станка: посредством относительного перемещения инструмента и заготовки инструмент удаляет из заготовки лишний металлический материал, так что заготовка имеет требуемую геометрию и размер.

2.1 Проектирование главного привода.

Система основного привода станка отличается в зависимости от типа, производительности, размера и других факторов станка. Основным принципом при проектировании главной передачи станка является соблюдение установленных требований наиболее экономичным и разумным способом. Конкретный анализ следует проводить в сочетании с конкретными станками во время проектирования.

Во-первых, должны быть соблюдены требования к рабочим

характеристикам станка. Привод имеет разумную конструкцию, удобен и гибок в эксплуатации, безопасен и надежен. В экспериментах мы разработали, чтобы избежать ненужной вибрации, когда работает система передачи, а шпиндель не нуждается в достаточном диапазоне скоростей. Следовательно, принят способ ременной передачи.

Во-вторых, необходимо соблюдать требования по передаче мощности токарного станка. Главный двигатель и механизм трансмиссии могут обеспечивать и передавать достаточную мощность и крутящий момент, а также имеют высокую эффективность передачи. В наших экспериментах мощность, необходимая для алмазного выглаживания, невелика, и мы можем использовать существующие двигатели для достижения требуемого движения.

В-третьих, необходимо соблюдать требования к производительности станков. Все детали в главном приводе должны иметь достаточную жесткость, точность, виброустойчивость и стабильные характеристики термической деформации.

В-четвертых, экономические требования дизайна продукта должны быть выполнены. Приводная цепь максимально короткая, а количество деталей невелико для экономии материалов и снижения затрат. В нашем дизайне. Основные используемые материалы - это относительно дешевые материалы, такие как стальные пластины и дерево.

В-пятых, его необходимо удобно настраивать и поддерживать, структура проста и разумна, а также легко обрабатывается и собирается. Разработанный нами токарный станок имеет чисто механическую конструкцию, поэтому его легко устанавливать и разбирать.

Компонент шпинделя является одним из важных компонентов станка. В качестве исполнительного механизма станка его функция состоит в том, чтобы поддерживать и приводить в движение заготовку или инструмент для резки, а также выдерживать нагрузку, такую как сила резания и движущая сила, для завершения движения, формирующего поверхность.

Компонент шпинделя состоит из шпинделя и его опорных подшипников, элемента трансмиссии, уплотнительного элемента и позиционирующего элемента.

2.1.1. Основные требования, которым должны соответствовать компоненты шпинделя.

I . Точность вращения.

Точность вращения шпинделя относится к радиальному биению и осевому биению заготовки или основного вала инструмента без нагрузки и с низкой скоростью вращения после сборки. Точность вращения зависит от точности изготовления, сборки и регулировки шпинделя, подшипника, отверстия в корпусе и тому подобного.

II . Жесткость.

Жесткость компонента шпинделя относится к его способности противостоять деформации при приложенной нагрузке и обычно определяется силой, приложенной в направлении смещения, когда передний конец шпинделя упруго деформируется за счет смещения блока. Жесткость шпинделя составляет общая жесткость, которая является всеобъемлющим отражением жесткости шпинделя и подшипников.

III. Вибростойкость.

Вибростойкость элемента шпинделя относится к способности противостоять вибрации. В проекте резки на компонент шпинделя не только воздействует статическая сила, но также воздействует сила удара и переменная сила, вызывающая вибрацию шпинделя. Ударная сила и переменная сила являются изменениями твердости материала и припуска на обработку. Вызывается дисбалансом компонентов шпинделя, дефектами в подшипниках и вибрацией в процессе резки. Вибрация компонентов шпинделя напрямую влияет на качество обработки поверхности детали, срок службы инструмента и уровень шума.

IV. Повышение температуры и термическая деформация

Когда компонент шпинделя находится в работе, теплота трения в зоне резания увеличивает температуру компонента шпинделя, размер формы и изменение положения, а так называемая термическая деформация компонента шпинделя снижает точность обработки.

2.1.2. Способы передачи компоненты шпинделя.

Система передачи является связующим звеном между силовой системой и исполнительным органом. Его основные функции включают в себя следующие три аспекта: передача мощности, передача движения, распределение движения и мощности.

Способы передачи компоненты шпинделя в основном включают в себя зубчатую передачу, ременную передачу и прямой привод двигателя. Выбор режима привода шпинделя в основном определяется требованиями к скорости шпинделя, передаваемому крутящему моменту, плавности движения, а также легкости загрузки

и выгрузки.

Зубчатая передача отличается простой и компактной структурой, может передавать большой крутящий момент, может адаптироваться к переменной скорости и переменной нагрузке и является наиболее широко используемой. Его недостаток в том, что линейная скорость не может быть слишком высокой. Когда точность изготовления не высока, передача не является гладкой и шумной. Она не такая плавная, как ременная передача, и шум велик.

В условиях малой мощности и соответствия рабочим требованиям можно выбрать коробку передач с простой конструкцией и низкой начальной стоимостью, например, ременную передачу.

В ременном приводе используется натяжной (кольцевой) ремень, который надевается на шкивы двух приводных валов и зависит от трения, создаваемого ремнем и шкивом, для передачи мощности одного вала другому. Вращение ремня может использоваться для передачи на большое расстояние между двумя осями (рабочая машина и силовая машина). Поскольку ремень является упругим, он может смягчить удар, уменьшить вибрацию и стабилизировать передачу, но не может поддерживать строгое передаточное отношение (отношение числа оборотов в минуту ведущего колеса к числу оборотов в минуту ведомого колеса). Когда элемент передачи сталкивается с препятствием или перегружен, ремень будет скользить по шкиву, предотвращая тем самым повреждение механизма. Ременная передача проста и удобна в эксплуатации, стоимость низкая, обслуживание простое, и его легко заменить. Однако, поскольку ремень скользит по шкиву, механическая эффективность ременной передачи низкая, а срок службы самого ремня также низок, и он будет постепенно удлиняться после

длительного использования, поэтому его следует регулировать в любое время.

Чтобы уменьшить вибрацию токарного станка во время обработки, мы выбрали синхронную ременную передачу в системе главного привода.

Синхронный ременный привод - это приводной механизм с передаточным отношением $i = Z2 / Z1$. Хотя базовый ремень зубчатого ремня изготовлен из полиуретана или неопрена, он обладает упругостью, однако в несущем силовом слое материала используется стальная проволока и стекловолокно с низким удлинением. Литые под давлением, относительное удлинение очень мало под действием растягивающей силы и переменного напряжения, шаг синхронного ремня остается неизменным, так что зубья зубьев и канавка синхронного зубчатого колеса правильно зацепляются, и скольжение не теряется, так что получается синхронная передача без скольжения и достигается точность. Коэффициент передачи составляет до 98%, и передача является стабильной, с эффектами буферизации и демпфирования.

В тяжелых условиях работы с агрессивной средой и утечкой воды цепь подвержена ржавчине, износу и коррозии, клиноременная передача будет проскальзывать из-за уменьшения коэффициента трения. Однако приводной ремень ГРМ представляет собой зубчатую трансмиссию, которая не скользит, а вода смазывает резину, что, в свою очередь, снижает потери на трение зубчатого ремня.

При наличии запыленных примесей, когда зубья ремня ходят в канавку синхронного колеса, зубья создают давление в воздухе в канавке синхронного колеса, так что сжатый воздух выпускается в обе стороны канавки колеса и сжатый воздух. Давление будет играть роль удаления пыли и загрязнений сетчатой поверхности, что может

снизить потери на трение зубчатого ремня.

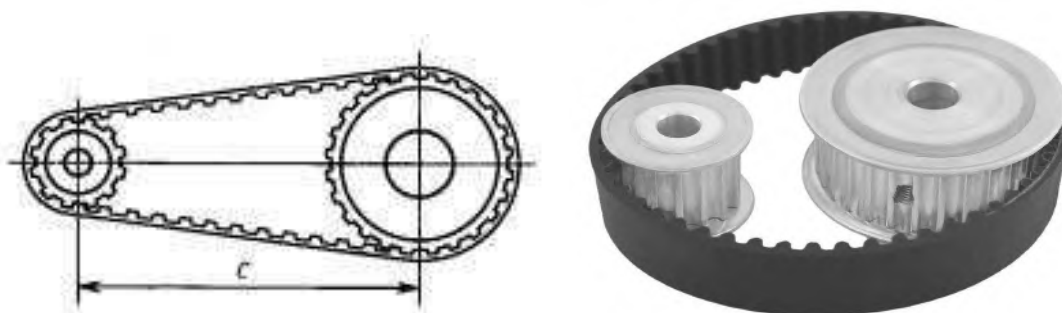


Рис. 12. Синхронный ремень

Благодаря вышеупомянутым преимуществам синхронных ремней мы приобрели требуемые шкивы и два ремня от производителя.

2.1.3. Проектировка конструкции шпинделя.

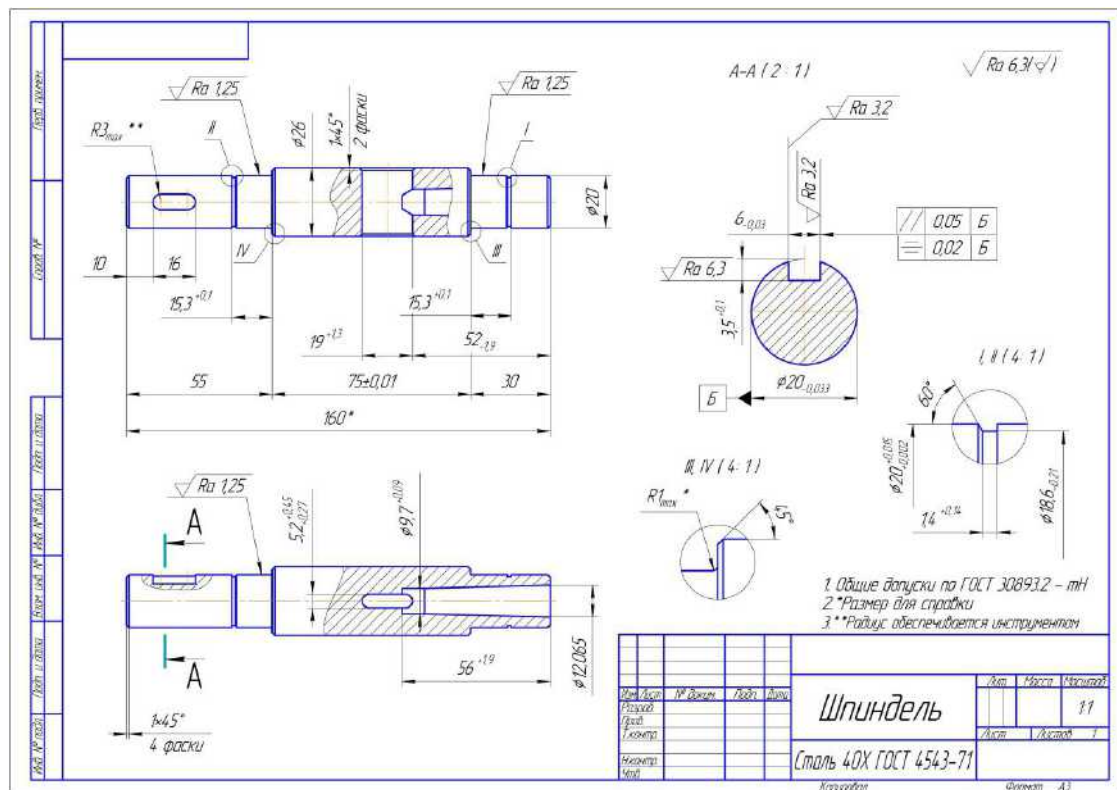
Шпиндель станка представляет собой вращающийся вал, который непосредственно приводит в движение инструмент или заготовку для выполнения резания и формирования поверхности во время работы и подвергается изгибающим и крутильным композитным напряжениям и трению. Структура и форма шпинделя в основном определяются типом, количеством, положением и методом установки инструментов, инструментов, деталей трансмиссии, подшипников и т. д., установленных на шпинделе. Проектирование процесса обработки шпинделя и процесса сборки также следует учитывать при проектировании. Шпиндель обычно представляет собой полый ступенчатый вал.

Чтобы предотвратить деформацию и износ шпинделя, материал шпинделя должен обладать превосходными комплексными

механическими свойствами, то есть достаточной усталостной прочностью, малой чувствительностью к концентрации напряжений и хорошими технологическими свойствами, чтобы облегчить получение поверхности, имеющей низкое значение шероховатости поверхности.

Под науглероженной сталью понимается сталь, которая используется после зауглероживания (или карбонитрирования) закалки и отпуска при низких температурах. Он в основном используется для изготовления важных деталей, требующих высокой износостойкости, высокого контактного давления и ударной нагрузки, таких как автомобиль, рычаг переключения передач трактора, распределительный вал двигателя внутреннего сгорания, поршневой палец и другие детали. Эти детали подвергаются интенсивному износу при трении и большим переменным нагрузкам во время работы, особенно сильным ударным нагрузкам, и их эксплуатационные требования:

1. Он обладает высокой прочностью и пластичностью, чтобы противостоять деформации и деформации, таким как растяжение, изгиб и кручение.
2. Поверхность должна обладать высокой твердостью и износостойкостью, чтобы противостоять износу и поверхностному контактному усталостному повреждению.
3. Он обладает высокой прочностью, чтобы выдерживать сильные удары.
4. Когда внешняя нагрузка является циклической, деталь должна иметь хорошее сопротивление усталостному повреждению.



Чертеж 1. Шпиндель

Шпиндель. Наружный контур представляет собой ступенчатый вал с канавкой $\Phi 20$, $\Phi 26$, $\Phi 18,6$ имеется шпоночный паз $6 \times 6 \times 16$. Внутренний контур состоит из одного внутреннего конуса Морзе 1.

Материал детали: сталь 40Х — это конструкционная легированная сталь с содержанием углерода $C=0,40\%$, хром $Cr=0,8...1,1\%$, остальные материалы (кремний, марганец и пр.) до $0,8\%$.

Марка стали 40Х обладает следующими характеристиками:

1. Имеет повышенную жаропрочность.
2. Устойчива к коррозии.
3. Считается не ржавеющим материалом.

Конструкционные стали применяют для изготовления различных деталей, частей машин, станков и других конструкций.

Деталь имеет габаритные размеры: $\Phi 26 \times 160$. Самые точные поверхности:

-посадочный диаметр: $\Phi 20\text{мм}$ с шероховатостью $Ra_{1,25}$;

-посадочный диаметр: внутренней конус Морзе 1;

-позиционированный размер: $75 \pm 0,01\text{мм}$.

Остальные размеры выполняются по ГОСТ 30893.2 - mH, неуказанная шероховатость- $Ra_{6,3}$.

Деталь имеет отклонения форм поверхность:

-допуск параллельности $0,05\text{мм}$,

-допуск симметричности $0,02\text{мм}$.

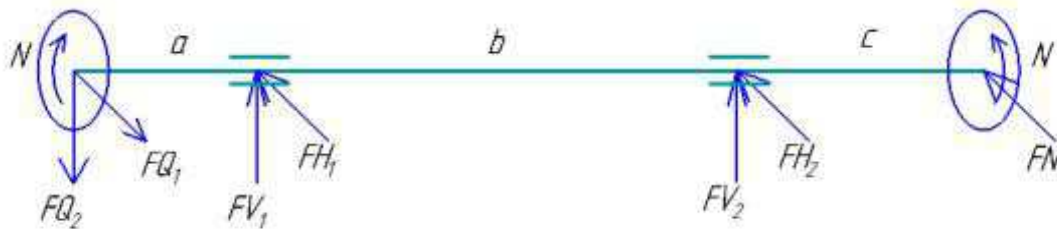
Конец шпиндели и каждый ступенчатый торец имеют фаску, что используется для введения сопрягаемых деталей и предотвращения царапин совпадающих деталей и операторов. Чтобы обеспечить точность вращения шпиндели, диаметр шпиндели, соответствующий подшипнику качения, имеет высокую точность и низкую шероховатость поверхности.

Чертеж обрабатываемой детали имеет все необходимые сведения, дающие полное представление о детали, т.е. все проекции, размеры и сечения. На чертеже указаны все размеры с необходимыми отклонениями, требуемая шероховатость обрабатываемых поверхностей. Указаны сведения о материале детали.

Расчет на прочность шпиндели.

Чтобы проверить прочность шпинделя, напряжение шпинделя в работе должно быть подтверждено в первую очередь. Как показано на следующей диаграмме сил, шпиндель поддерживается горизонтальными и вертикальными опорными силами F_{H1} , F_{H2} , F_{V1} , F_{V2} , обеспечиваемыми двумя подшипниками, давлением

режущей головки FN , горизонтальной составляющей FQ_1 и вертикальной составляющей FQ_2 силы натяжения ремня и во время обработки момент N получен в процессе.



Где N - Крутящий момент

FQ_1, FQ_2 - Горизонтальное натяжение и вертикальное натяжение ремня.

FH_1, FH_2, FV_1, FV_2 - Горизонтальная и вертикальная несущая опора подшипников.

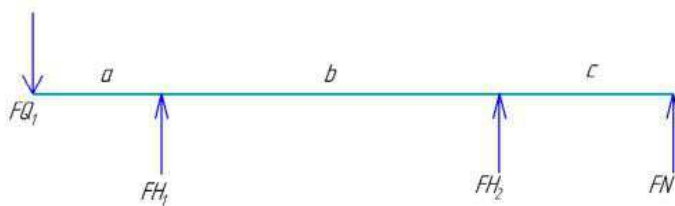
FN - Сил давления режущей головки.

a, b, c - Части длины шпинделя.

Известны $FQ_1=45\text{H}$, $FQ_2=17\text{H}$, $FN=500\text{H}$, $a=48\text{мм}$, $b=89\text{мм}$, $c=23\text{мм}$,
 $N=500\text{H}\cdot\text{мм}$.

Теоретический расчёт:

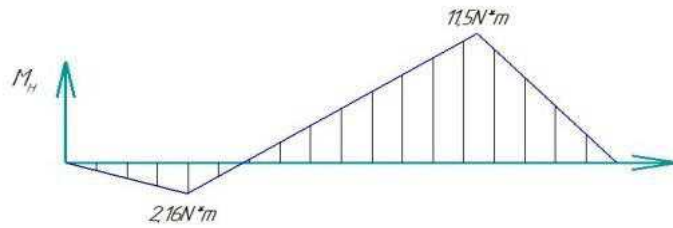
Силы в горизонтальной плоскости



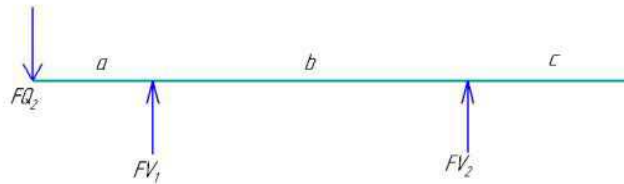
$$FH_1 = \frac{FN \cdot c + FQ_1 \cdot (a + b)}{b} = \frac{500 \cdot 23 + 45 \cdot 137}{89} = 198\text{H}$$

$$FH_2 = FQ_1 - FH_1 - FN = 45 - 198 - 500 = -653\text{H}$$

Изгибающий момент в горизонтальной плоскости



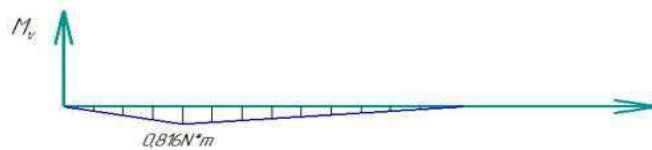
Силы в вертикальной плоскости



$$F_{V1} = \frac{F_{Q2} * (a + b)}{b} = \frac{17 * 137}{89} = 26 \text{ H}$$

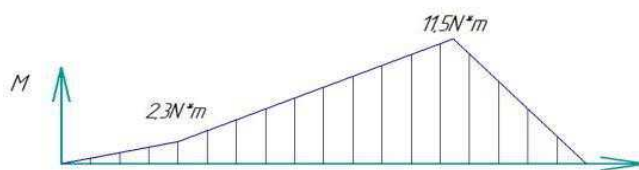
$$F_{V2} = F_{Q2} - F_{V1} - F_f = 17 - 26 = -9 \text{ H}$$

Изгибающий момент в вертикальной плоскости



Суммарный изгибающий момент

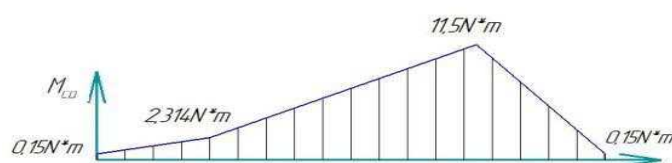
$$M = \sqrt{M_H^2 + M_V^2}$$



Эквивалентный изгибающий момент

$$M_{ca} = \sqrt{M^2 + (\alpha T)^2}$$

Постоянный крутящий момент для размера и направления $\alpha=0,3$



Расчет показывает, что горизонтальные составляющие силы на подшипнике составляют 198Н и 653Н, вертикальные составляющие силы на подшипнике составляют 26Н и 9Н. Самый большой крутящий момент равно 11,5Н*м.

2.1.4. Подшипник качения шпинделя.

Наиболее важным компонентом шпинделя является подшипник. Тип подшипника, точность, структура и другие условия напрямую влияют на рабочие характеристики компонентов шпинделя.

Требования к подшипнику шпинделя: высокая точность вращения, высокая жесткость, высокая несущая способность, высокая предельная скорость, большой диапазон скоростей, низкий коэффициент трения, низкий уровень шума и хорошая виброустойчивость. Следовательно, при выборе подшипника шпинделя следует учитывать основные требования к рабочим характеристикам, условиям производства и экономическому эффекту компонента шпинделя. Когда станок работает, убедитесь, что ось шпинделя параллельна направляющей подачи. Принимая во внимание погрешность установки шпинделя, мы используем самоустанавливающиеся шарикоподшипники для поддержки шпинделя.

Самоустанавливающийся шарикоподшипник имеет два ряда шариков и общую вогнутую сферическую дорожку качения на наружном кольце. Эта особенность конструкции обеспечивает самоустанавливаемость подшипника, позволяя ему воспринимать угловые перекосы вала относительно корпуса. Такие подшипники особенно удобны в узлах, где возможны значительные изгибы вала

или различные перекосы. Кроме того, самоустанавливающиеся шарикоподшипники имеют самый низкий коэффициент трения из всех подшипников качения, благодаря чему они слабо подвержены нагреву даже при вращении с высокими скоростями.



Рис. 12. Подшипники радиальные шариковые сферические двухрядные.

2.1.5. Проектировка стакана подшипника.

Там, где есть подшипник, должна быть опорная точка. Внутренняя опорная точка подшипника — это вал, а внешняя опора часто называется стаканом подшипника.

В случае низкой точности вала и стакана подшипника, подшипник не может выполнить требуемые характеристики из-за его влияния. Например, точность плеча на месте установки не является хорошей, а внутреннее и внешнее кольца будут отклоняться. В дополнение к нагрузке на подшипник и нагрузке на краевые нагрузки, усталостная долговечность подшипника сокращается. Кроме того, жесткость стакана подшипника должна не только обеспечивать стабильную опору для подшипника, но также обеспечивать меньшую деформацию при воздействии внешних

нагрузок. Чем выше жесткость, тем лучше звук подшипника и распределение нагрузки.



Рис. 13. Стакан подшипника

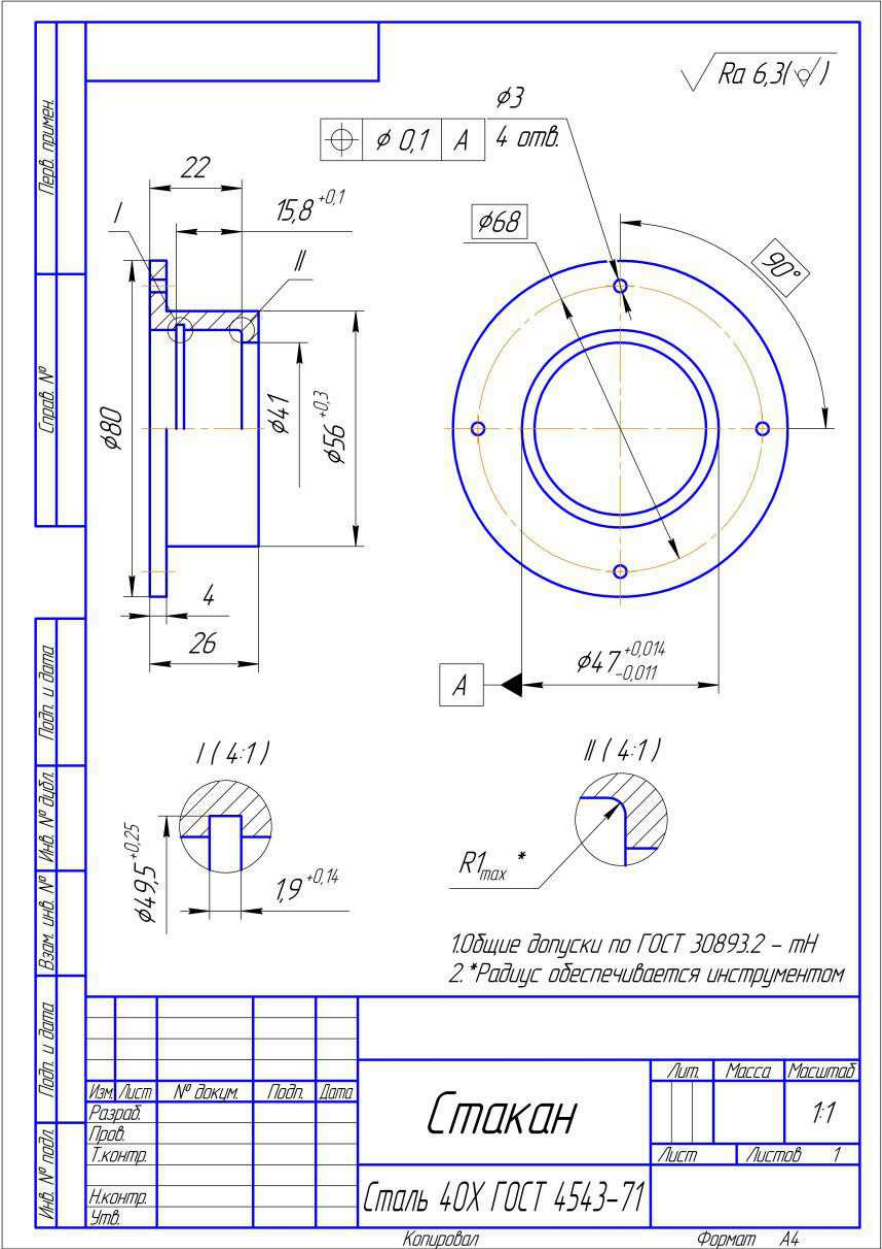


Чертёж 2. Стакан подшипника

Стакан. Наружный контур представляет собой ступенчатый вал с канавкой Ф80, Ф56. Внутренний контур состоит из одной ступени

Ф41, Ф47.

Деталь имеет габаритные размеры: Ф80×26. Самые точные поверхности:

- посадочный диаметр: Ф47мм, Ф56мм;

- позиционированный размер: Ф15,8мм.

Остальные размеры выполняются по ГОСТ 30893.2 - mH, неуказанная шероховатость-Ra6,3.

Деталь имеет отклонения форм поверхность:

- допуск позиции Ф0,1мм

Чертеж обрабатываемой детали имеет все необходимые сведения, дающие полное представление о детали, т.е. все проекции, размеры и сечения. На чертеже указаны все размеры с необходимыми отклонениями, требуемая шероховатость обрабатываемых поверхностей. Указаны сведения о материале детали.

2.1.6. Выбор пружинного кольца.

Пружинное кольцо прикрепляется к пазу вала, как радиальное перемещение неподвижных частей, внутренний диаметр такого кольца немного меньше, чем диаметр вала сборки.

Должны использовать щипцы, губки зажимного кольца вставляется в монтажное отверстие, расширение кольца, может быть помещен в паз вала ранее механической обработке.

Кольца пружинные разделят на наружные и внутренние.



Рис. 14. Пружинные кольца

2.1.7. Проектировка крышки шпинделя

Торцевые крышки являются одной из наиболее широко используемых механических частей и являются основными внешними частями корпусов подшипников. Основная роль торцевой крышки: осевое позиционирование наружного кольца подшипника, защита от пыли и уплотнение при работе подшипника.

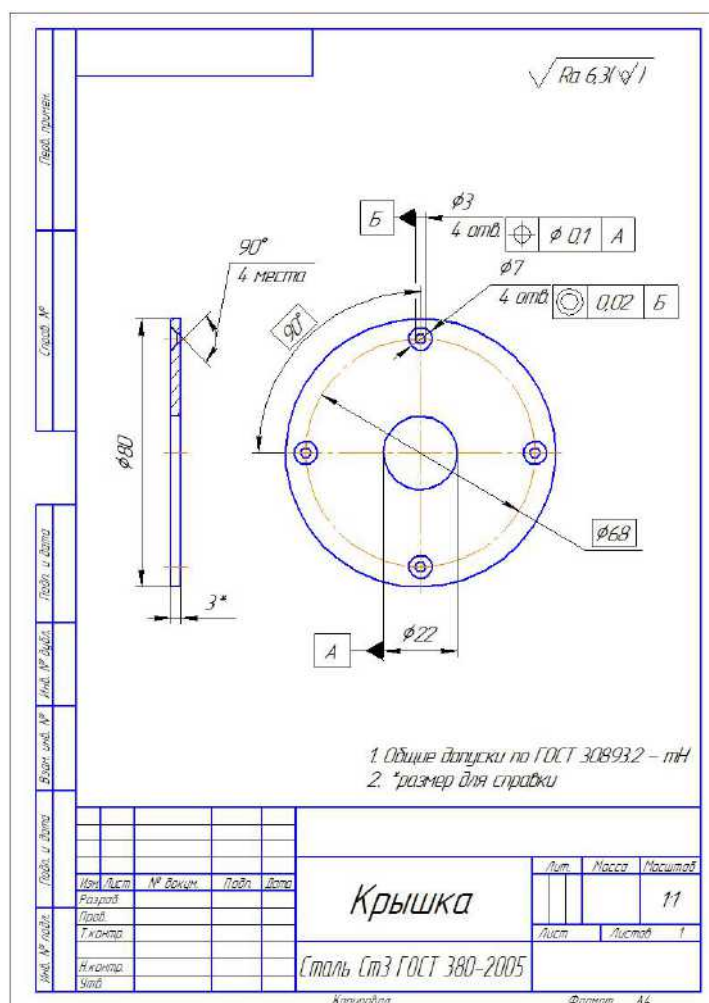


Чертёж 3. Крышка подшипника

Крышка представляет собой фланец $\Phi 80$ с отверстием $\Phi 22$.

Материал детали: сталь Ст3. Марку Ст3 относят к углеродистым конструкционным сталям обыкновенного качества. В состав входят следующие химические элементы: углерод до 0,22%, кремний до 0,17%, марганец до 0,65% и многие другие, в том числе хром и никель.

Деталь имеет габаритные размеры: $\Phi 80 \times 3$.

Деталь имеет отклонения форм поверхность:

- допуск позиции $\Phi 0,1$ мм;
- допуск соосности 0,02 мм

Остальные размеры выполняются по ГОСТ 30893.2 - mH, неуказанная шероховатость- $Ra 6,3$.

Чертеж обрабатываемой детали имеет все необходимые сведения, дающие полное представление о детали, т.е. все проекции, размеры и сечения. На чертеже указаны все размеры с необходимыми отклонениями, требуемая шероховатость обрабатываемых поверхностей. Указаны сведения о материале детали.

2.1.8. Выбор двигателя для главного движения станка.

Электродвигатель — это устройство, которое преобразует электрическую энергию в механическую. Он использует спиральную катушку для создания вращающегося магнитного поля и воздействует на ротор, чтобы сформировать магнитоэлектрический вращающий момент. Принцип работы двигателя заключается в том,

что магнитное поле действует на ток, заставляя двигатель вращаться.

В нашем запланированном эксперименте диаметр обрабатываемого вала составлял диаметр 20 мм, а заданная скорость подачи составляла 0,01 мм на оборот. В соответствии с существующими условиями частота вращения выбранной нами системы подачи составляет 2,5 оборота в минуту. Согласно чертежу детали шаг ведущего винта составляет 1,5 мм.

Скорость держателя инструмента:

$$v_{ин} = 1,5\text{мм/об} \times 2,5\text{об/мин} = 3,75\text{мм/мин}$$

Скорость вращения шпинделя:

$$v_{шп} = \frac{3,75\text{мм/мин}}{0,01\text{мм/об}} = 375\text{об/мин}$$

$$v = \frac{\pi dn}{1000} = \frac{3,14 \times 20 \times 375}{1000} = 23,55\text{м/мин} = 0,4\text{м/с}$$

Сил давления головки равен 500Н.

Сил трения: $f = \mu * F = 0,1 * 500 = 50\text{Н}$

Мощность двигатель $N = f * v = 50 * 0,4 = 20\text{Вт}$

2.2. Выбор центров токарного станка.

Центр, деталь станка при механической обработке, есть два типа фиксированного центра и подвижного центра. Токарные станки используются для центрирования и выдерживания силы тяжести и резки заготовки.

Передний центр токарного станка может быть установлен непосредственно в конусном отверстии шпинделя токарного станка, а передний центр вращается вместе с заготовкой без относительного движения.

Существует два типа заднего центра: фиксированный центр и поворотный центр. При использовании задний центр можно вставить в конусное отверстие втулки задней бабки токарного станка. Фиксированный центр обладает хорошей гибкостью и точным центрированием, но трение скольжения между центральным отверстием и центром легко изнашивается и выгорает. Поэтому токарные станки подходят только для заготовок, требующих высокой точности на низких скоростях. Подвижный центр оснащен подшипниками качения, который вращается вместе с заготовкой и может нормально работать на высоких скоростях. Однако жесткость подвижного центра плохая, и иногда это может привести к биению и снижению точности обработки.



Рис. 15. Подвижный задний центр.

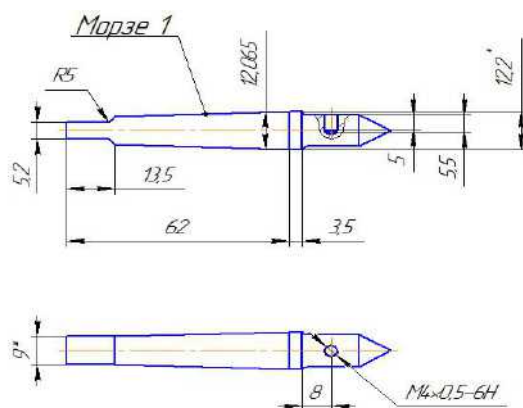


Рис. 16. Фиксированный передний центр.

2.3. Проектировка опоры токарного станка.

2.3.1. Функция опоры.

Опорные части станка относятся к крупным деталям, таким как станина, колонна, балка, основание и т. д., которые жестко связаны друг с другом, образуя фундамент и раму станка. Другие компоненты машины могут быть прикреплены к опоре или перемещены по направляющим опоры во время работы. Поэтому основной функцией опоры является обеспечение взаимного положения и относительной точности перемещения между различными частями станка, а также обеспечение достаточной статической жесткости, ветроустойчивости, термостойкости и долговечности станка. Поэтому разумная конструкция опоры является одним из важных аспектов конструирования станков.

Мы проектируем небольшой токарный станок, опорная рама — это станина, жестко соединенная с деталями шпинделя, механизм подачи и шарикоподшипники линейного перемещения, поддерживающие держатель инструмента. Станина не только несет вес этих компонентов, но также несет силу резания, силу передачи и силу трения резца. При этих силах не должно возникать чрезмерной деформации и вибрации.

Вред вибрации при обработке:

1. На поверхности заготовки появляется морщина вибрации, снижение качества поверхности.
2. Легко вызвать сколы инструмента и ускорить износ инструмента или шлифовального круга.
3. Влияет на работоспособность кинематической пары и приводит к тому, что станок теряет точность.

4. Производит шумовое загрязнение и ставит под угрозу здоровье оператора.
5. Влияет на эффективность производства.

2.3.2. Выбор материала опоры.

Выбор материалов является важной частью механического дизайна. Выбор материалов не только напрямую влияет на структуру и функции деталей, но также влияет на выбор структурной формы и выбор обработки деталей и процесса сборки.

Обычно используемыми материалами для опорных элементов являются чугун, стальной лист, натуральный гранит, железобетон и бетонный стержень. Древесина обладает лучшими демпфирующими свойствами, чем металлические материалы, и ее легко обрабатывать, и она недорогая.

Общие преимущества древесины:

- Древесина легкая и мягкая, с помощью простых инструментов ее можно превратить в изделия различной формы.
- Имеет более высокую прочность и выносливость.
- Хорошая производительность в поглощении ударов и вибрации.
- Обладает слабой проводимостью к звуку, электричеству и теплу, а также имеет сильную изоляцию.
- Реакция на изменения температуры невелика, а тепловое расширение и сжатие меньше, чем у металла.
- Не ржавеет и не подвержен коррозии.
- Легко гвоздь или клей.
- Цена низкая.

Антивибрационные свойства древесины подробно описаны в разделе 4.2.

Основываясь на принципе удобной обработки, низкой цены и хорошего гашения вибрации, мы выбираем дерево в качестве станины нашего экспериментального токарного станка. Самое главное, что древесина обладает хорошей виброустойчивостью, что значительно снижает влияние вибрации корпуса на заключение эксперимента во время обработки.

2.3.3. Опора станины токарного станка.

Станина является основным компонентом токарного станка. Другие компоненты токарного станка установлены на станине.

Как показано на рисунке ниже, станина состоит из 5 частей размером 100 * 100 * 420 мм куски. Закрепите шпильками М16, гайками и шайбами. Кроме того, контактная поверхность покрыта клеем.

Отверстия с потайной головкой обрабатываются на двух концах кусков, чтобы облегчить ввинчивание винта с шестигранной головкой.

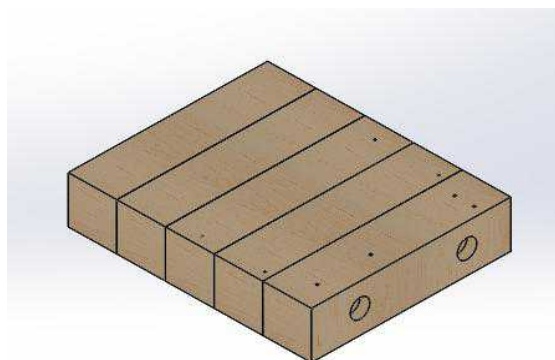
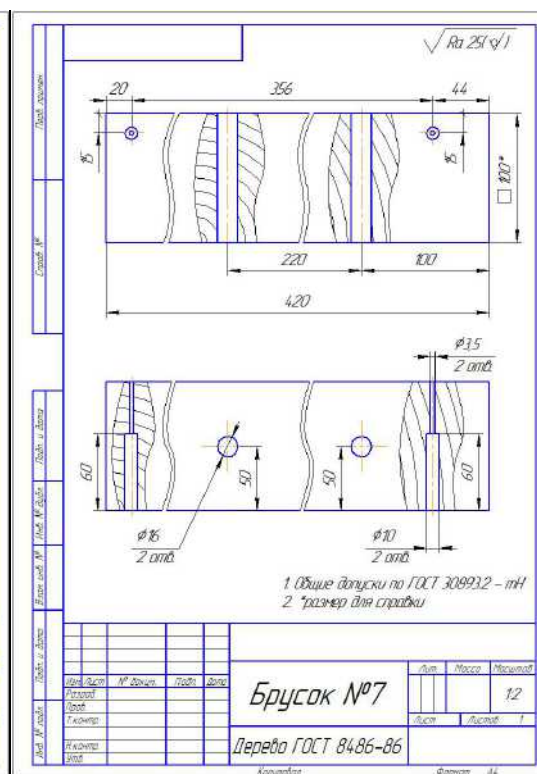
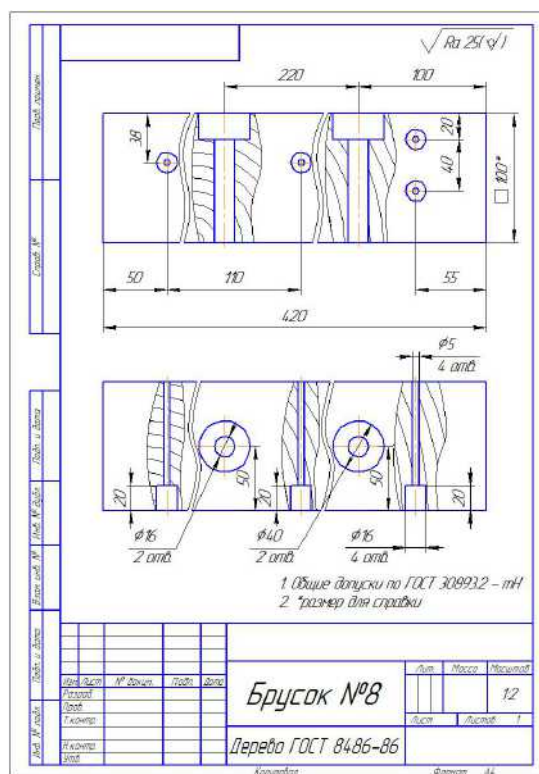
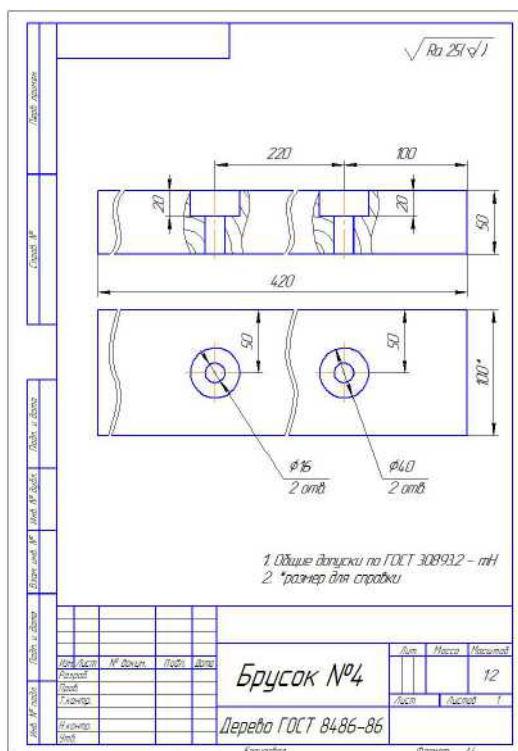
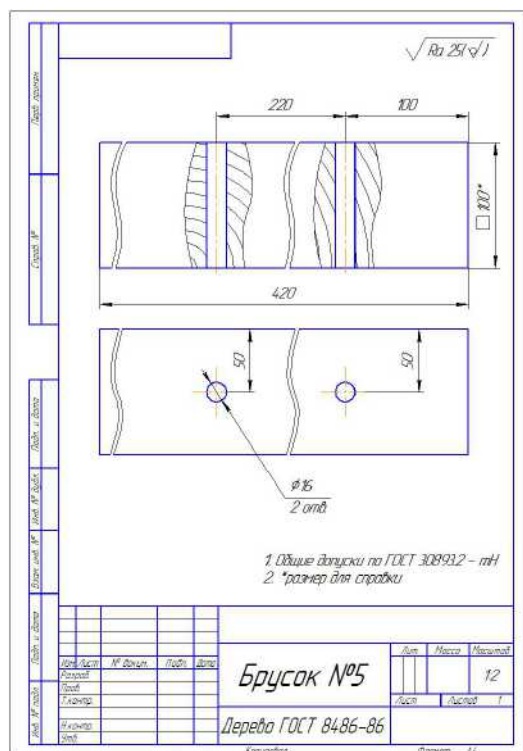


Рис. 17. Сборка станины



Чертежи 4. бруски

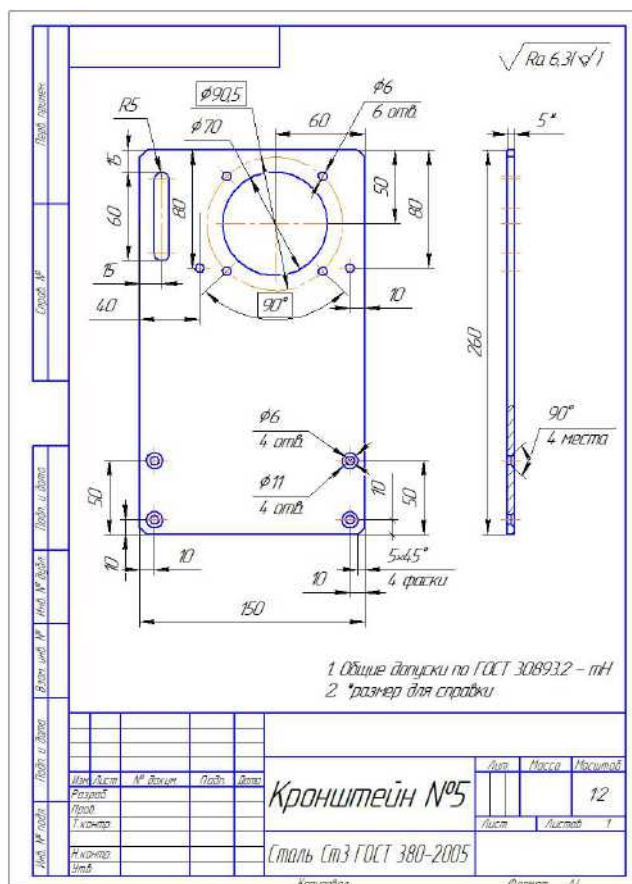
На чертеже детали отверстия Ф16мм, Ф5мм служит для прохода шпильки и отверстия Ф3,5мм служит для вкрутения шурупов.

2.3.4. Проектировка опоры двигателя.

После того, как двигатель выбран для основного движения и движения подачи, наиболее важным является то, что двигатель должен быть плавно закреплен на станине токарного станка, и относительное положение с шпинделем и винтом легко регулируется во время установки двигателя.

В зависимости от формы и размеров двигателя мы разработали профессиональную опору для двигателя. В целях уменьшения сложности обработки и экономии затрат. В качестве заготовки мы выбираем стальную пластину толщиной 5. Для того чтобы сделать конструкцию более жесткой, мы также зафиксировали угловое железо с обеих сторон стальной пластины.

Кроме того, опора двигателя имеет структуру с U-образной канавкой для крепления оси натяжного ролика.



Чертежи 5. Опоры двигателя

Чертеж обрабатываемой детали имеет все необходимые сведения, дающие полное представление о детали, т.е. все проекции, размеры и сечения. На чертеже указаны все размеры с необходимыми отклонениями, требуемая шероховатость обрабатываемых поверхностей. Указаны сведения о материале детали.

2.3.5. Другие опоры токарного станка.

В дополнение к основанию токарного станка, части поддержки токарного станка также включают в себя опору шпинделя, опору задней бабки, опору системы подачи и опору двигателя. Идеи дизайна и чертежи для этих компонентов описаны ниже.

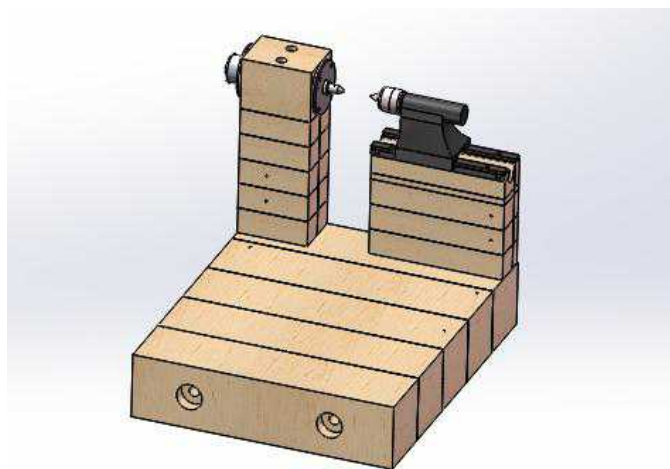
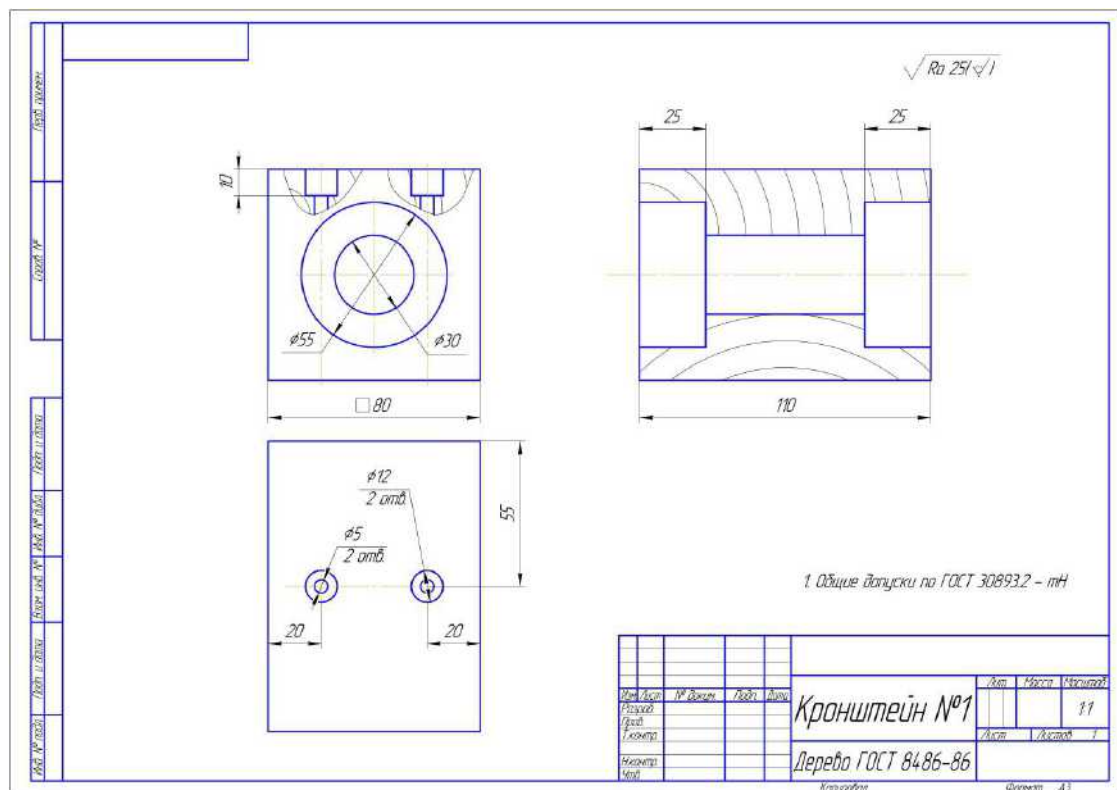
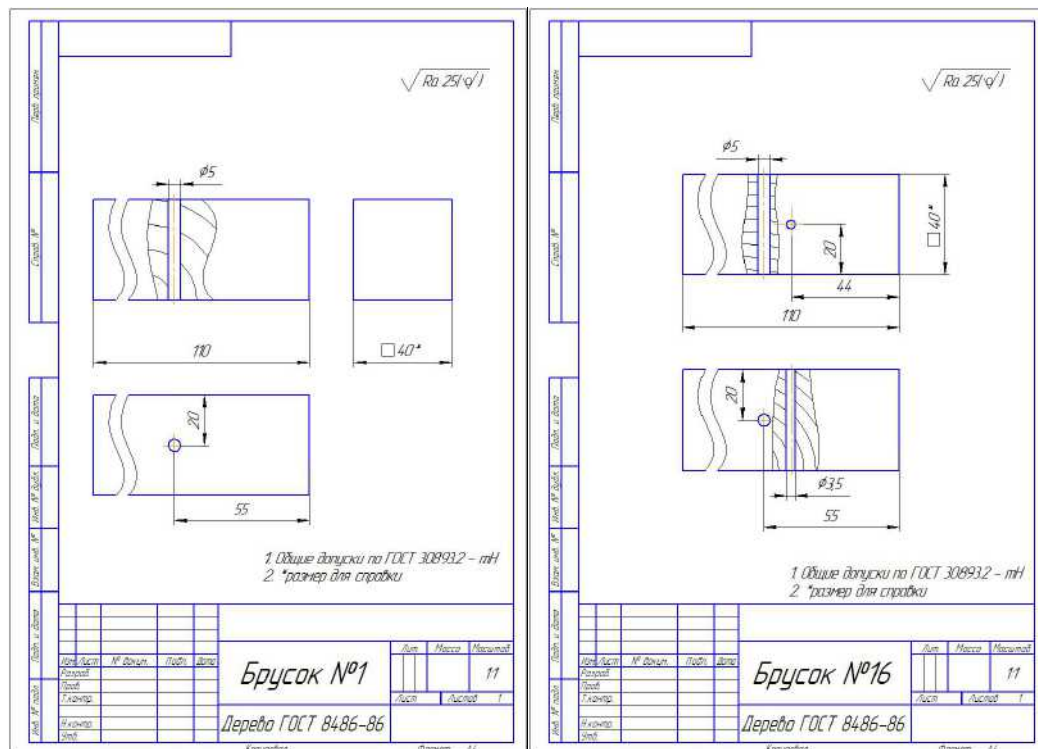


Рис. 18. Опоры шпинделя и задней бабки

Опорная часть шпинделя состоит из 10 деревянных брусков размером 40 * 40 * 110 мм и 1 деревянного бруска размером 80 * 80 * 110 мм, как показано на рисунке. Контактные поверхности каждого деревянного бруска соединяются клеем, а деревянные бруски и станина токарного станка фиксируются шпильками М5, шайбами и гайками, что повышает устойчивость токарного станка.

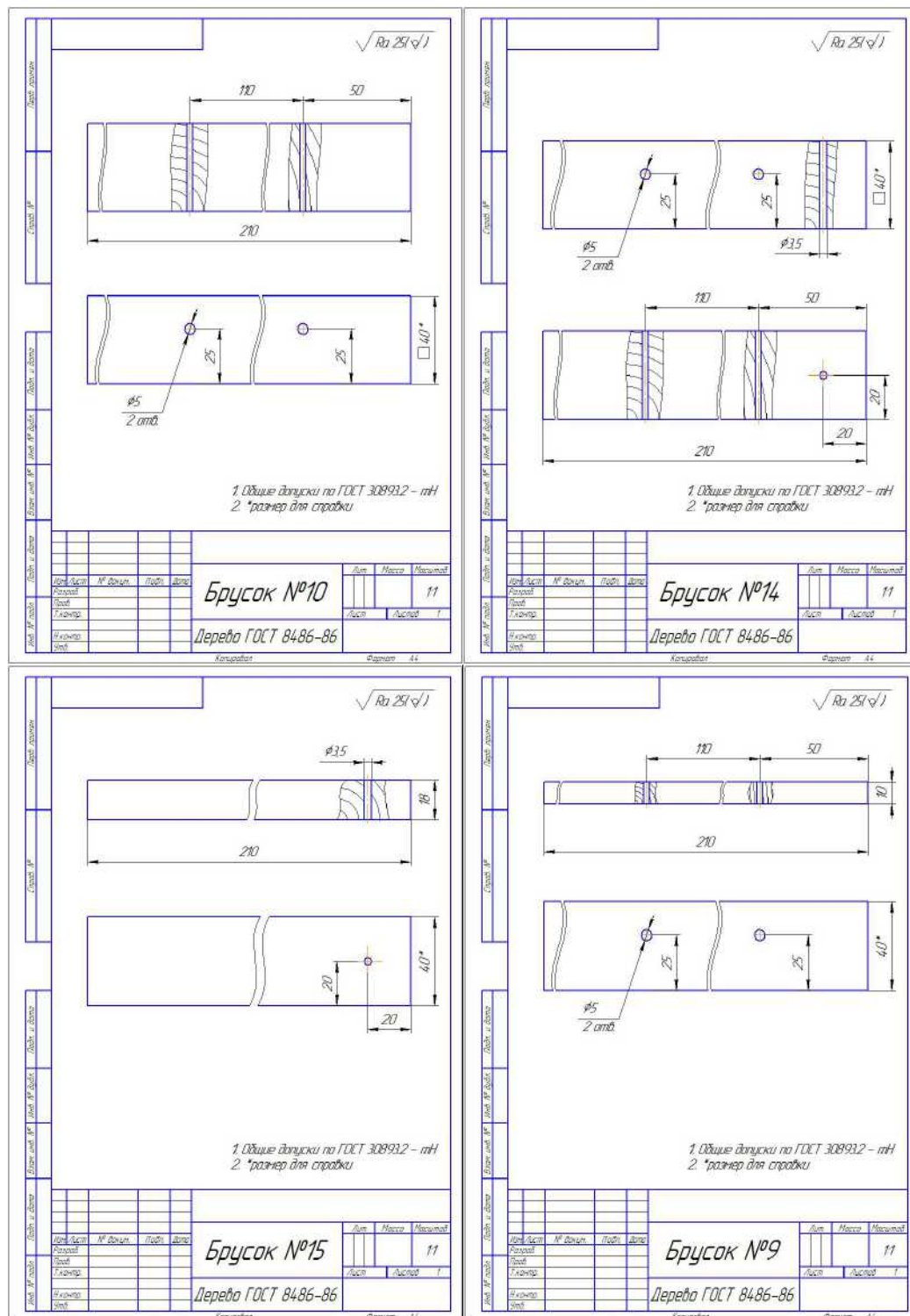


Чертежи 6. Бруски опоры шпинделя

На чертеже детали отверстия $\Phi 5$ мм служит для прохода шпильки и отверстия $\Phi 3,5$ мм служит для вкрутения шурупов.

Опора задней бабки также состоит из 10 деревянных брусков.

Самое главное при проектировании - убедиться, что центральная линия шпинделя совпадает с центральной линией задней бабки.



На чертеже детали отверстия $\Phi 5\text{мм}$ служит для прохода шпильки и отверстия $\Phi 3,5\text{мм}$ служит для вкрутения шурупов.

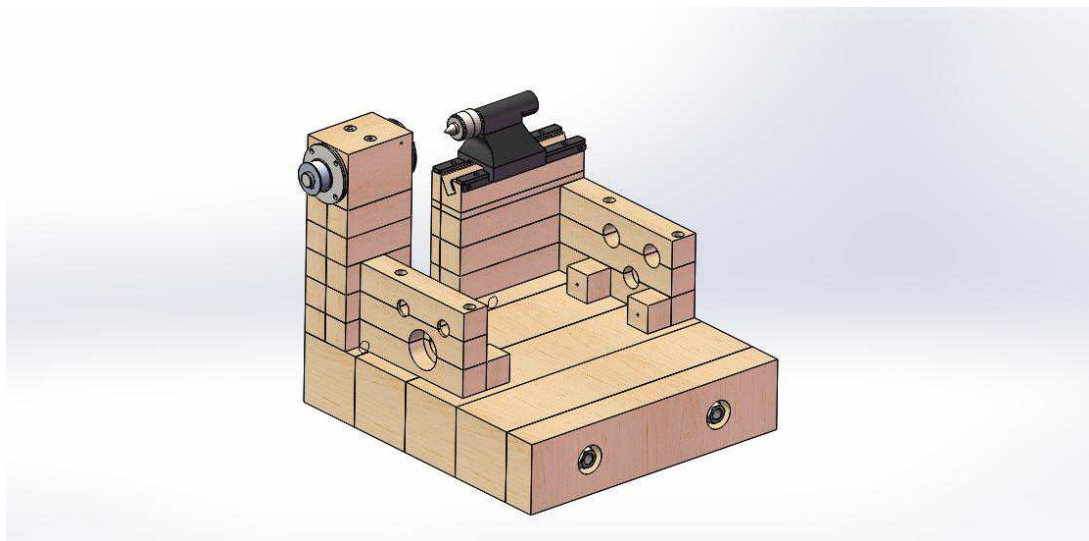


Рис. 19. Опоры шпинделя, задней бабки и подачи

2.4. Выбор резьбового крепежа.

Резьбовые крепежные детали представляют собой механические детали с внутренней или наружной резьбой и обычно используются в качестве крепежных элементов для облегчения сборки нескольких компонентов. Наиболее распространенными резьбовыми креплениями являются винты, гайки и болты. Резьбовое соединение представляет собой широко используемое разъемное фиксированное соединение, которое имеет преимущества простой конструкции, надежного соединения и удобной сборки, и разборки.

Особенности резьбовых соединений:

- (1) При затягивании резьбы может возникнуть большая осевая сила;
- (2) он может легко достичь самоблокировки;
- (3) небольшие размеры;
- (4) Он прост в изготовлении и может поддерживать высокую точность.

Резьбовые крепежные элементы используются практически на любом механическом оборудовании, поэтому технология резьбового соединения является одной из важнейших технологий, обеспечивающих надежность механических систем. Благодаря частому использованию резьбовые соединения стали одной из самых стандартизированных деталей. В общих стандартах, таких как ISO и ГОСТ, болты, гайки, шайбы и другие детали были предоставлены в соответствии с их размером (номинальный диаметр, длина, форма головки и т. Д.) И классификацией прочности. Поэтому просто выберите из стандарта, и любой тип резьбового крепежа прост в использовании.

В наших токарных станках используются следующие резьбовые соединения:

таблица 2.

Наименование	Обозначение	Кол-во
Шурупы с потайной головкой	Шуруп 2 – 5×30 ГОСТ 1145-80	18
	Шуруп 2 – 2,5×16 ГОСТ 1145-80	24
	Шуруп 2 – 5×70 ГОСТ 1145-80	2
Шурупы с полукруглой головкой	Шуруп 2 – 5×13 ГОСТ 1144-80	16
Винты с шестигранной головкой	Винт с шестигранной головкой ГОСТ Р ИСО 4017-M6×16-8,8	10
	Винт с шестигранной головкой ГОСТ Р ИСО 4017-M3×20-8,8	8
Винты с внутренним шестигранником	Винт M5×30 ГОСТ 11738-84	4

Гайки шестигранные	Гайка М5-6Н	24
	Гайка М6-6Н	8
	Гайка М8-6Н	2
	Гайка М16-6Н	4
Шайбы	Шайба А.5	28
	Шайба А.6	16
	Шайба А.8	4
	Шайба А.16	4
Шпилька	Шпилька М16-6g × 1000 ГОСТ 22042-76	1
Шпилька	Шпилька М5-6g × 3000 ГОСТ 22042-76	1

Характеристика и применение различных типов резьбовых соединений.

Соединение шурупа. Обычно используется для соединения деревянных конструкций. В зависимости от твердости материала и длины шурупов, деревянные детали могут быть предварительно изготовлены или сделаны в отверстия определенного размера и глубины. Чтобы облегчить сборку, мы просверлили предварительно сделанные отверстия, прежде чем вкручивать шурупы.

Соединение болта. Используется для соединения двух более тонких частей. Сквозное отверстие открыто в соединенном элементе. Между стержнем и отверстием обычного болта имеется зазор, требования к обработке сквозного отверстия низкие, конструкция простая, сборка и разборка удобные, а применение широкое.

Соединение шпильки. Используется для более толстых соединенных деталей, что не подходит для болтовых соединений.

Более толстые соединенные детали имеют меньшую прочность и требуют частой разборки. Резьбовые отверстия обрабатываются на толстых деталях, легкие отверстия - на тонких деталях, болты ввинчиваются в резьбовые отверстия, а тонкие детали прессуются с помощью гаек. При снятии нужно только открутить гайки, не снимая шпильки. Предотвращает повреждение резьбовых отверстий в крупных деталях.

Шайба — это деталь, которая вставляется между соединенной деталью и гайкой. Обычно плоское металлическое кольцо используется для защиты поверхности соединяемого элемента от царапин от гайки и для распределения давления гайки на соединяемом элементе.

Из-за большого количества чертежей выше перечислены только чертежи главного привода станка и деревянных опорных частей. Сборочные чертежи, чертежи трехмерных моделей и другие чертежи приведены в приложении 1.

3. Технологическая часть.

Слесарная работа обычно использует тиски и различные ручные инструменты для резки. Основными операциями слесаря являются: разметка, распиловка, сверление, развёртка, нарезание резьбы и т. д. В работу слесаря также входит сборка и ремонт машины.

Сфера применения слесаря, следующая:

1. Подготовка перед обработкой, например, очистка заготовки, разметка заготовки и т. д.
2. В единичном или мелкосерийном производстве сделайте несколько простых деталей.
3. Сборка, отладка и ремонт машин и т.д.

3.1. Обработка и сборка основания токарного станка.

Основание токарного станка соединено 5 кусками дерева длиной 420 * 100 * 100 мм с помощью шпилек и клея.

Мы выбираем заготовку с начальной длиной 3000мм и формой поперечного сечения 100 * 100 мм, следующие операции обработки - распиливание, сверление $\Phi 16$ и зенкование.

В соответствии с требованиями чертежа мы сначала разметили с помощью уголка на поверхности заготовки в качестве основы для распиливания, оставляя припуск на обработку 5 мм на обоих концах. Разумное распределение припуски каждой обрабатываемой поверхности посредством скрайбирования, чтобы гарантировать, что никакие браки не образуются во время обработки. Аналогичным образом, перед процессом сверления и зенкования заготовка также подвергается скрайбированию.

После того, как срезанная древесина соединяется с клеем и шпильками, поверхность основания строгается и шлифуется.

Инструменты, которые мы используем здесь:

Таб. 3

Название инструмента	Применение	Фото инструмента (прототип)
Дисковая электропила	Вырезание заготовки и подрезка торца	
Электрорубанок	Плоскость строгания	
Электрическая мельница	Плоскость шлифования	

3.2. Обработка и сборка опор шпинделя, задней бабки и подачи.

Опорная часть шпинделя состоит из 10 деревянных блоков размером $40 * 40 * 110$ мм и 1 деревянных блоков размером $100 * 100 * 110$ мм с проходным отверстием $\Phi 30$ и двумя отверстиями для подшипников $\Phi 55$.

Зажмите длинную древесину с поперечным сечением $40 * 40$ мм в тиски и используйте пилу, чтобы разрезать ее на 10 частей, припуск 5 мм для каждой части.

Следующая операция точить торец с помощью токарного станка. Непосредственно зажмите четырехсторонние заготовки на патрон с тремя кулачками. Поскольку три кулачка патрона с тремя кулачками перемещаются в одинаковом количестве радиально, необходимо обеспечить центр зажима заготовки и центр вращения шпинделя совпадают, чтобы удовлетворить стабильности обработки. При нормальных обстоятельствах заготовка ABCD зажимается, и ось заготовки O' не может быть соосна со шпинделем токарного станка O . Чтобы решить эту проблему, мы помещаем блок соответствующей толщины между кулачком и заготовкой и зажимаем ее. Схема ниже.

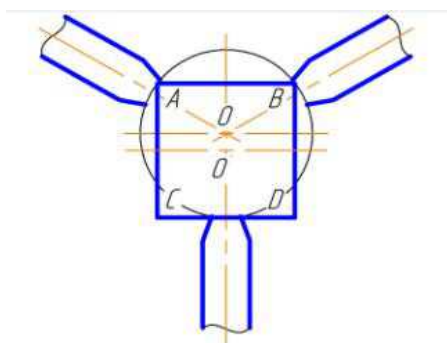


Рис. 20. Эксцентричная установка

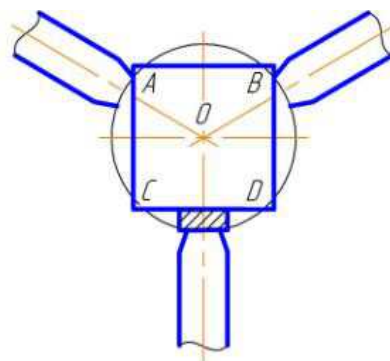


Рис. 21. Коаксиальная установка

После точения торца, сверление $\Phi 5$ и рассверление $\Phi 16$, завинтите шпильки, добавьте шайбы, затяните гайки сразу после нанесения клея.

Когда обработка отверстия $\Phi 30$, $\Phi 55$ с помощью горизонтального токарного станка. Зафиксируйте заготовку на планшайбе через шпильки, гайки и прижимы, при этом планшайба соединена с тремя кулачковым патроном. Сначала сверлит с диаметром отверстия 16 мм. Далее делает обработку расточения получить отверстия диаметром 30мм и 55мм.

Таким же образом, опоры задней бабки и подачи тоже получается путем распиливания, точения торца, сверления, расточения. После обработки древесина соединяется с клеем и шпильками, поверхность шлифуется.

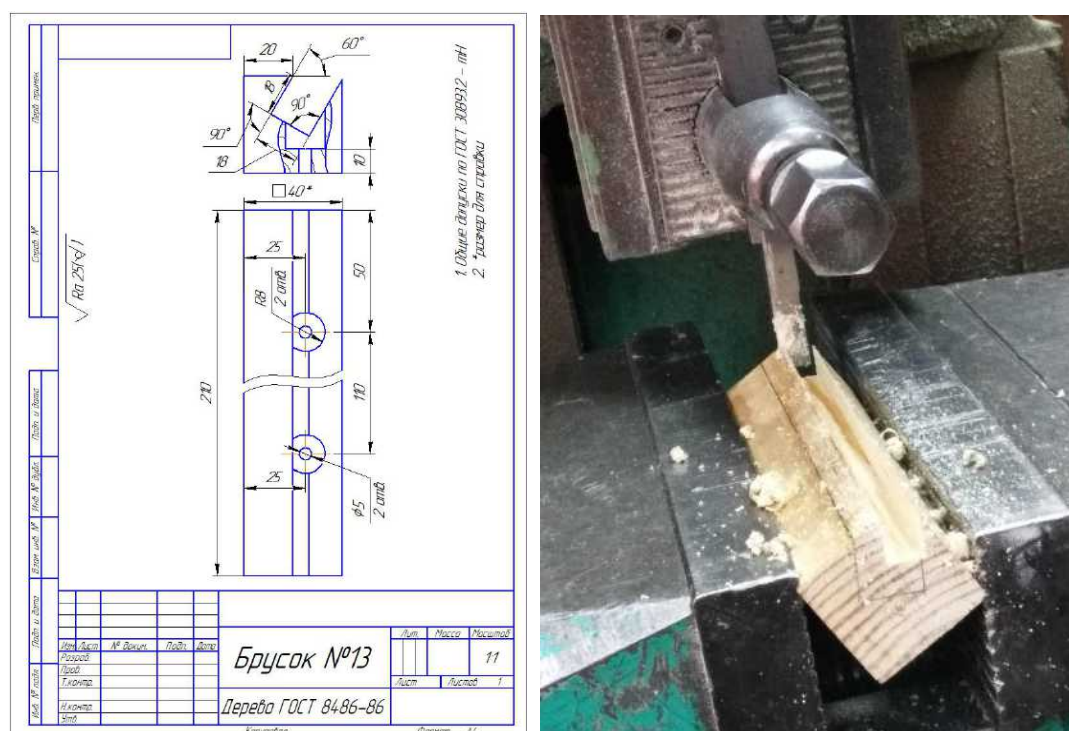


Рис. 22. Процесс обработки опоры задней бабки.

При обработке проволочных канавок сначала выполняйте разметку с помощью синусной линейки, а затем обрабатывается строгальным станком.

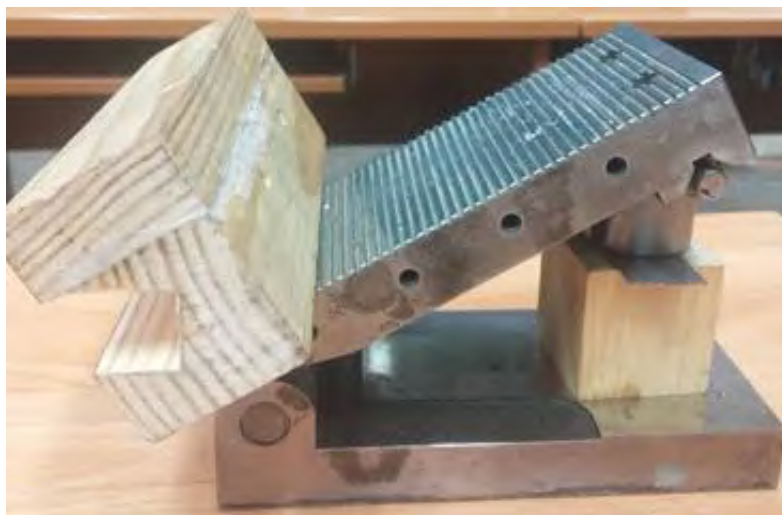


Рис. 23. Установка дерево на синусной линейке.

4. Применение метода конечных элементов в структуре токарного станка.

4.1. Анализ элемента шпинделя токарного станка.

4.1.1. Создание модели и сетки шпинделя.

При трехмерном моделировании шпинделя станка, чтобы эффективно, верно и точно выполнять анализ конечных элементов компонента шпинделя станка, шпиндель станка должен быть упрощен, и во время упрощения должны соблюдаться следующие принципы: игнорировать некоторые локальные структуры, которые не влияют на целое. Например, локальные особенности, такие как канавки и фаски, линеаризация и планаризация резьбы и углов в модели. Поэтому конструкция системы шпинделя станка упрощается в полый вал с одинаковым диаметром. Упрощенная схема шпинделя показана на рисунке 24.

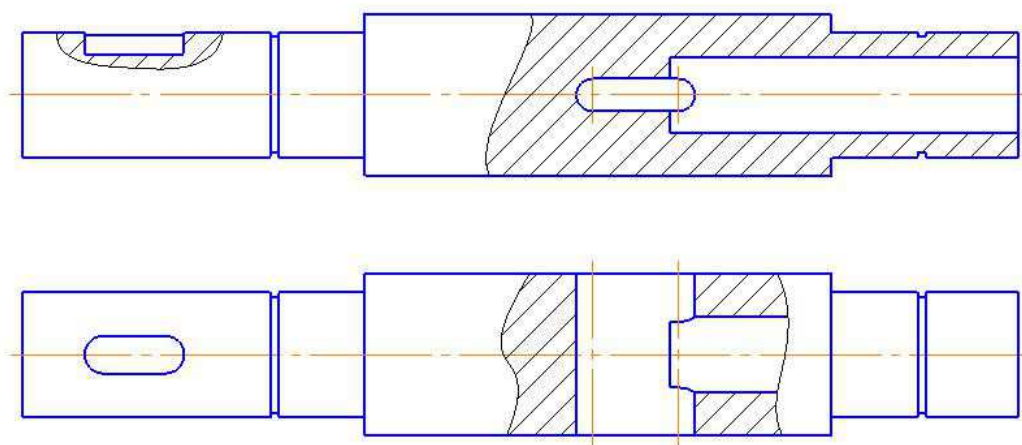


Рис 24. 2D упрощенная схема шпинделя

Существует два способа создания трехмерной модели шпинделя:

Один из них - построить модель с помощью профессионального трехмерного программного обеспечения, например КОМПАС, Solidworks, а затем импортировать ее в программное обеспечение ANSYS для анализа методом конечных элементов, а второй - использовать собственный модуль рисования ANSYS для моделирования шпинделя. Оба метода имеют свои преимущества и недостатки. Так как модель, представленная в этой статье, не особенно сложна, она моделируется с использованием программного обеспечения ANSYS. Созданная модель показана на рисунке 25.

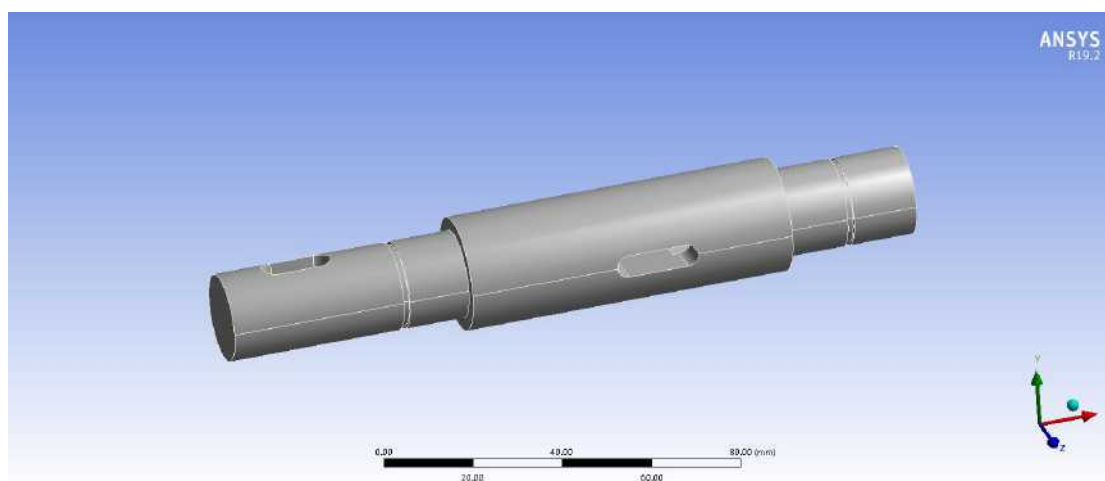


Рис 25. 3D модель шпинделя

При создании сетки шпинделя станка в программном обеспечении ANSYS имеется большое количество типов элементов для создания сетки, поскольку трехмерные 8-узловые объекты Solid185 используются для моделирования трехмерных объектов. Он определяется 8 узлами, и каждый узел имеет 3 степени свободы: направления X, Y, Z. С пластичностью, супер эластичностью, усилением напряжений, большой деформацией, большой деформацией. Его можно использовать для моделирования деформации субэластичных материалов, которые являются практически несжимаемыми, и суперэластичных материалов,

которые являются полностью несжимаемыми. Следовательно, сеточное деление модели конечных элементов шпинделя выбрано в качестве типа элемента 185 с 8 узлами. Модель с разделенным шпинделем показана на рисунке 26.

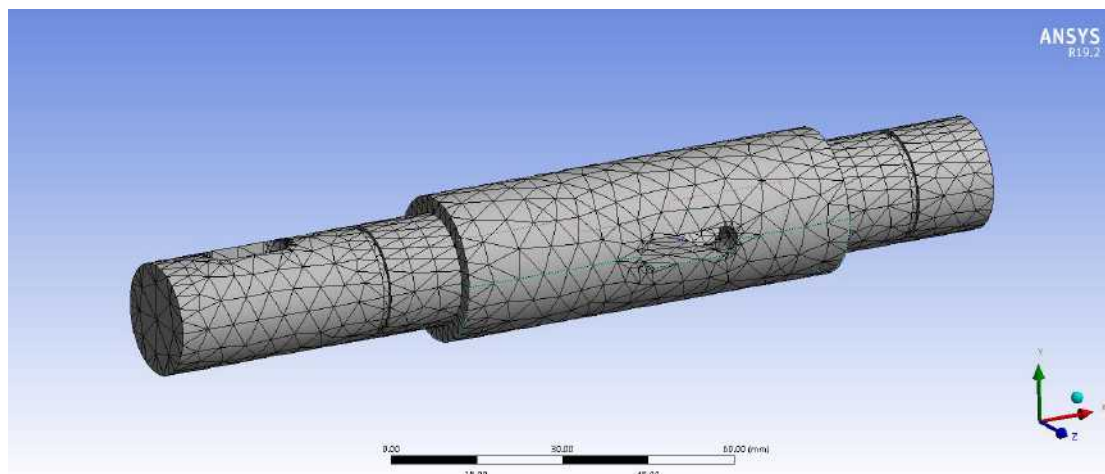


Рис 26. Создание сетки модели шпинделя

4.1.2. Анализ статических характеристик модели шпинделя.

Статическая жесткость шпинделя является очень важным показателем производительности шпинделя станка, который может отражать способность шпинделя выдерживать нагрузку и противостоять вибрации. Если статическая жесткость шпинделя недостаточна, под действием силы резания шпиндель вызовет большую деформацию и может вызвать вибрацию. Это не только повлияет на точность обработки станка, но и снизит качество обработки детали, нарушение стабильности шпиндельной системы приведет к большему износу подшипников. Поэтому очень важно проанализировать статические характеристики шпинделя.

Определение жесткости K на изгиб шпинделя можно понимать как: когда единичная радиальная деформация δ генерируется на переднем конце шпинделя, сила F , требуемая в направлении

деформации, составляет:

$$K = \frac{F}{\delta} \quad (1)$$

Формула силы резания станка может быть рассчитана по следующей формуле:

$$F = \frac{2 \times 955 \times 10^4 \eta P_E}{D_C n_C} \quad (2)$$

В формуле F - сила резания, Н; P_E - мощность двигателя, кВт; η - КПД системы передачи. n_C - скорость шпинделя, об/мин; D_C - расчетный диаметр, $D_C = (0,6-0,5) D_{\max}$. (где D_{\max} - максимальный диаметр обработки).

В этой статье $P_E = 0,02$ кВт, $\eta = 0,9$, $n_C = 375$ об/мин, $D_C = 10$ мм, и приведите данные в уравнение (2), чтобы получить:

$$F = \frac{2 \times 995 \times 10^4 \times 0,9 \times 0,02}{10 \times 375} = 95,52 \text{ Н}$$

Ограничить модель шпинделя, ограничивая степени свободы узлов в средней точке подшипника. Результаты анализа показаны на рис. 27 и рис. 28.

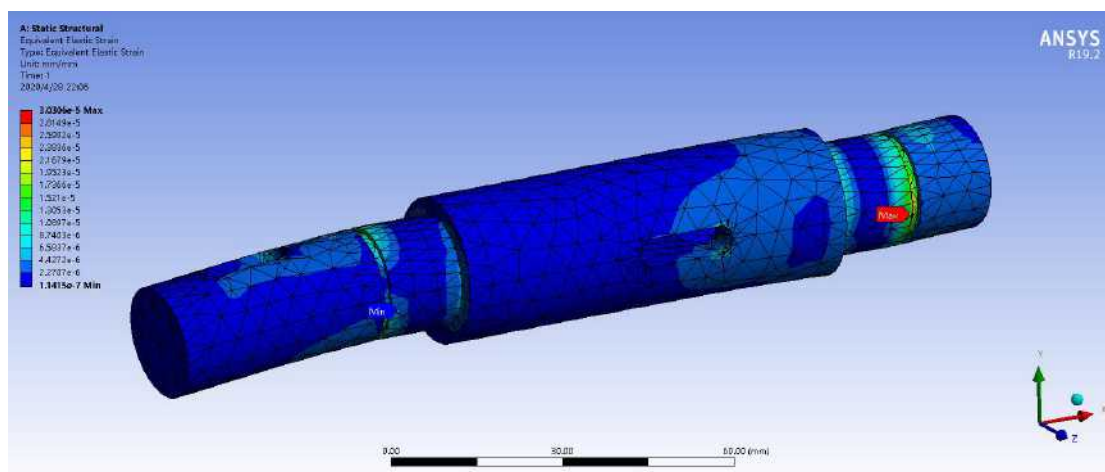


Рис 27. Схема деформации шпинделя

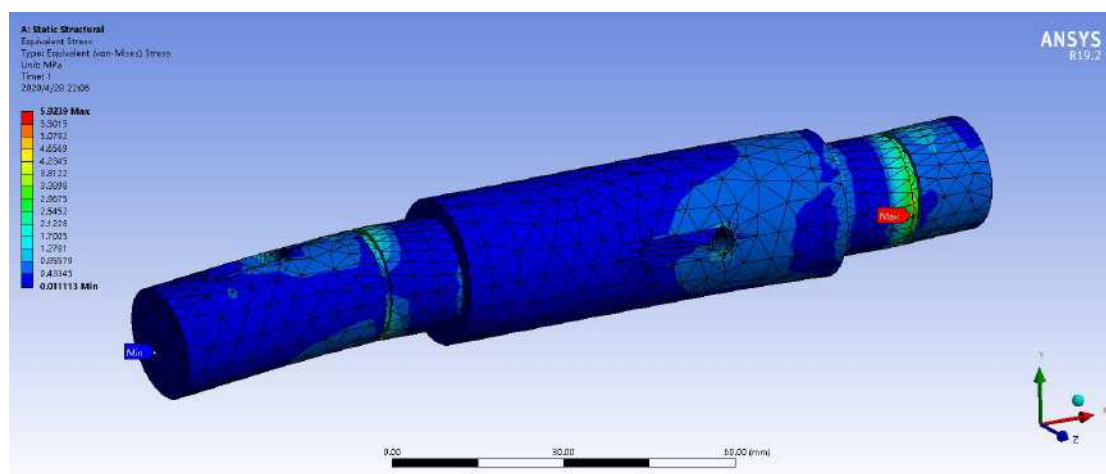


Рис 28. Схема напряжений шпинделя

Можно обнаружить, что максимальное смещение шпинделя $\delta_{\max} = 0,03$ мкм, а статическая жесткость шпилька можно рассчитать по приведенной выше формуле:

$$K = \frac{F}{\delta} = \frac{95,52}{0,03} = 3184 \text{ Н} \cdot \text{мкм}^{-1}$$

Из рисунка 28 видно, что напряжение под действием нагрузки усилия резания создает точку концентрации напряжений на шпинделе, а точка контакта с максимальным напряжением находится вблизи канавки шпинделя. Известно, что предел текучести стали 40Х составляет 330 МПа. В этом случае самое высокое напряжение шпинделя составляет 5,92 МПа, что намного меньше предела текучести шпинделя. Прочность шпинделя соответствует требованиям. Сравнивая результаты анализа жесткости и прочности шпинделя, можно получить, что точность обработки шпинделя зависит от жесткости, часто превышающей прочность.

4.1.3. Анализ прочности шпинделя.

Настройки основных параметров:

Материал шпинделя: Сталь 40Х.

Опоры при установке подшипника: Cylindrical Support.

Опора на шпоночном пазе: Frictionless Support.

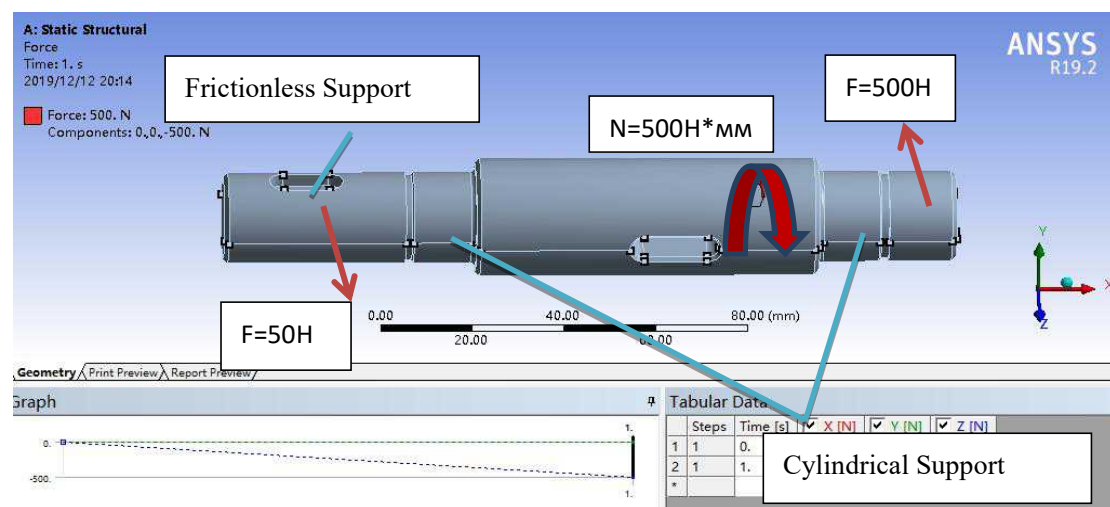
Нагрузка на головку инструмента: Force. $F=500\text{H}$.

Нагрузка на ремне: Force. $F=50\text{H}$.

Крутящий момент из-за давления режущей головки: Moment $N=500\text{H}\cdot\text{мм}$.

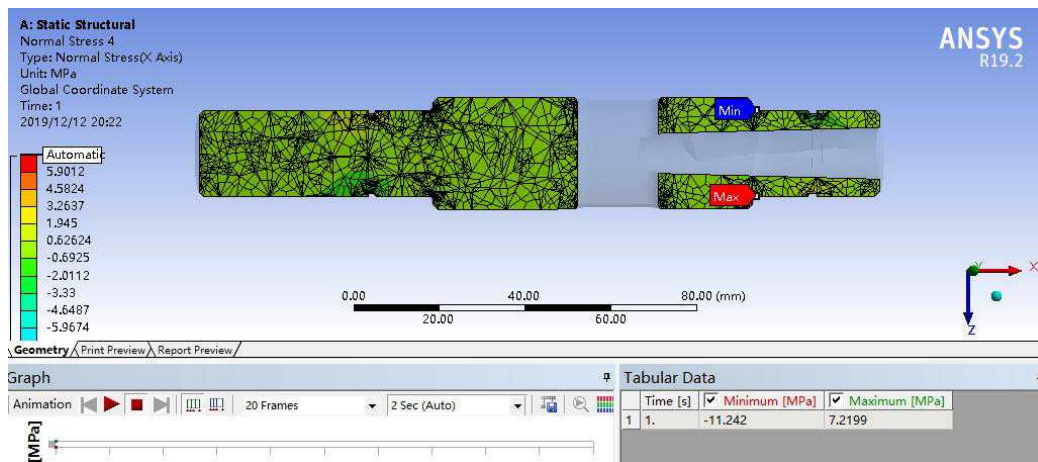
Ниже приведен анализ четырех позиций во время работы шпинделя.

Положение 1



Силовая диаграмма 1.

Распределение нормального напряжения в горизонтальной плоскости



Из рисунка видно, что напряжение в основном сосредоточено на опоре правого подшипника. Концентрация напряжения в канавке.

В соответствии с формулой

$$\sigma = \frac{M}{W}$$

где σ - напряжение

M- крутящий момент

W- момент сопротивления при изгибе.

(формула осевого момент сопротивления при изгибе для круглого

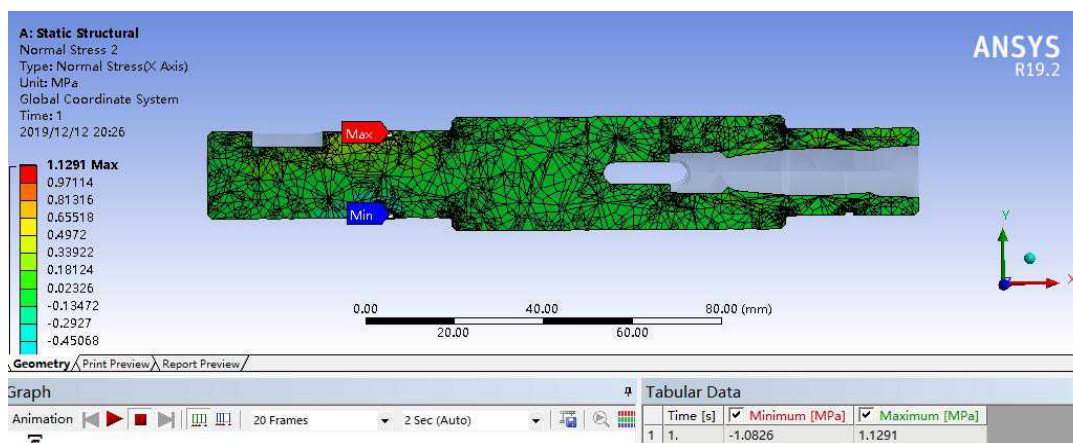
поперечного сечения: $W_x = W_y = \pi d^3 / 32$). Если это полый вал, то

$$W_{\text{полный}} < W$$

Согласно приведенной выше формуле и схема изгибающего момента в горизонтальной плоскости. Видно, что максимальное напряжение шпинделя в этом положении находится на правом конце опоры подшипника.

Можно получить, что теоретически рассчитанное распределение напряжений согласуется с результатом распределения напряжений моделирования ANSYS. И с помощью моделирования ANSYS для дальнейшего наблюдения распределения напряжений и концентрации напряжений в материале.

Распределение нормального напряжения в вертикальной плоскости.



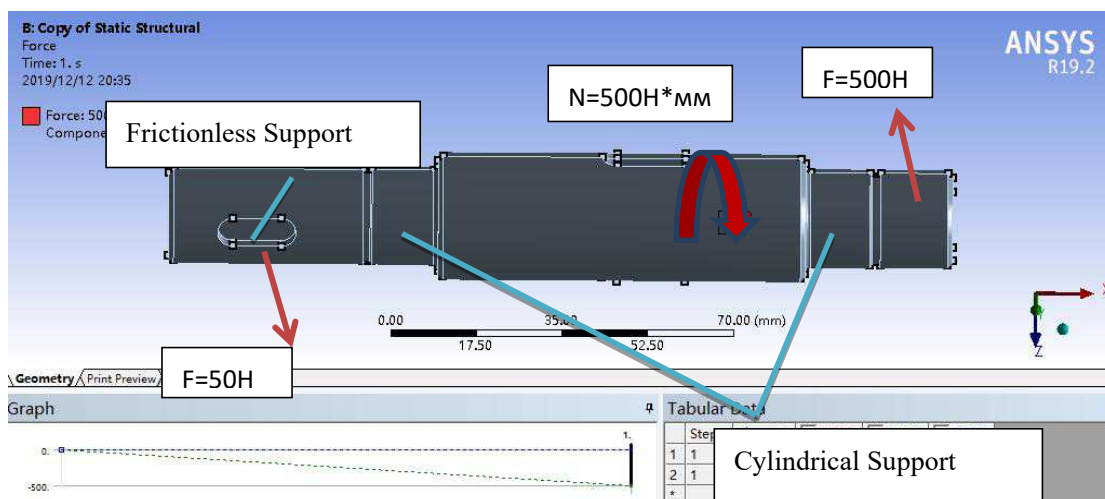
Из рисунка видно, что напряжение в основном сосредоточено на опоре левого подшипника. Концентрация напряжения в канавке.

Результаты моделирования также соответствуют теоретическим расчетам. Докажите достоверность наших расчетов.

Согласно методу анализа положения 1, мы проанализировали оставшиеся 3 положения работы шпинделя, и результаты анализа выглядят следующим образом.

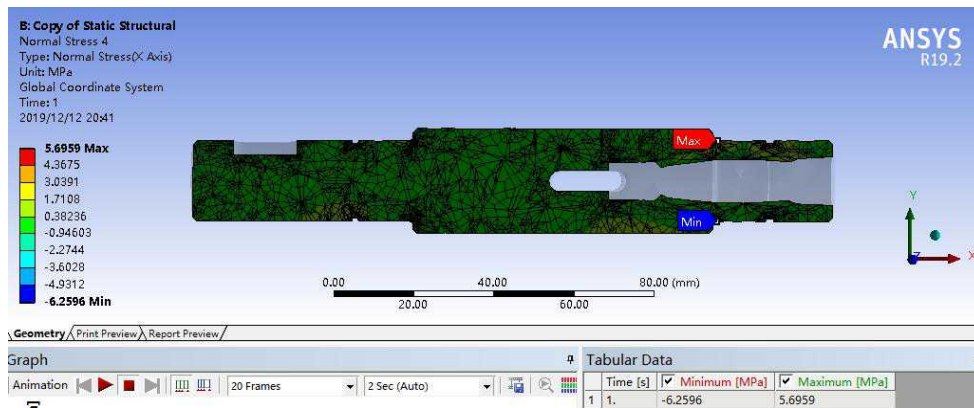
Положение 2.

Нагрузка при вращении шпинделя на 90 градусов выглядит следующим образом.

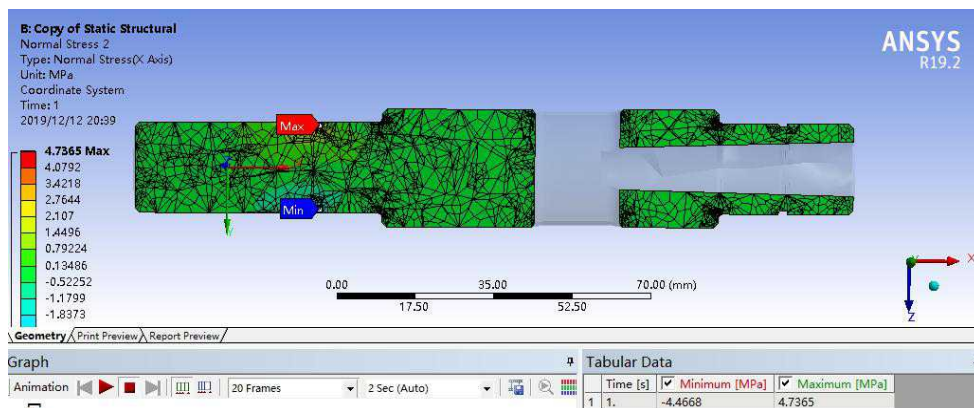


Силовая диаграмма 2.

Распределение нормального напряжения в горизонтальной плоскости.

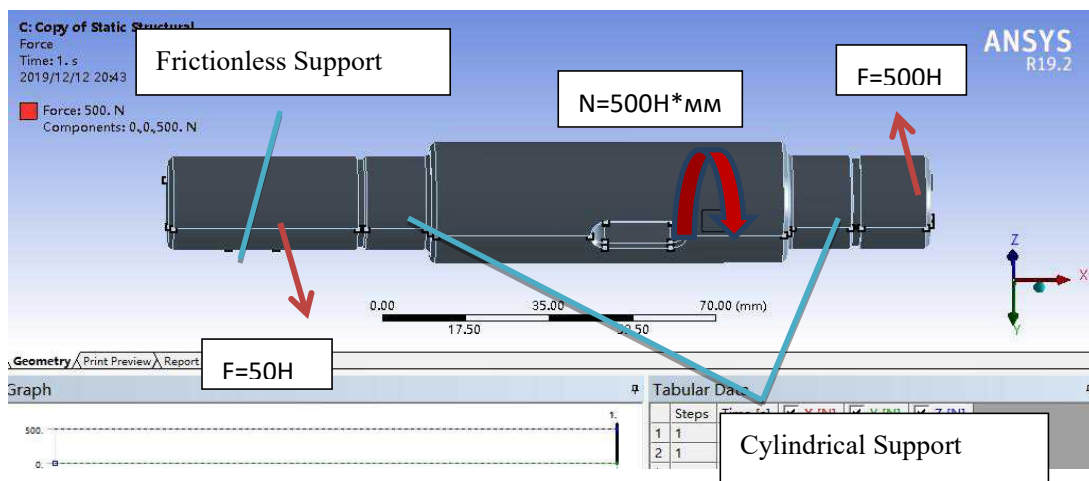


Распределение нормального напряжения в вертикальной плоскости.



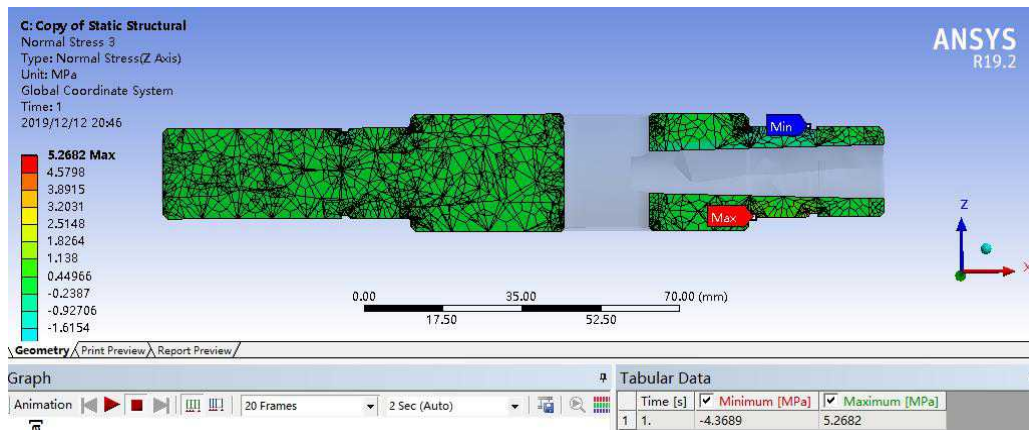
Положение 3.

Нагрузка при вращении шпинделя на 180 градусов выглядит следующим образом.

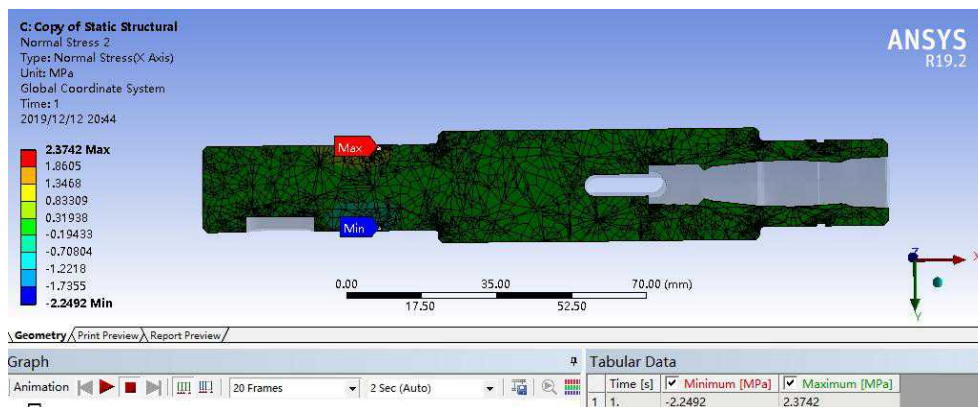


Силовая диаграмма 3.

Распределение нормального напряжения в горизонтальной плоскости.

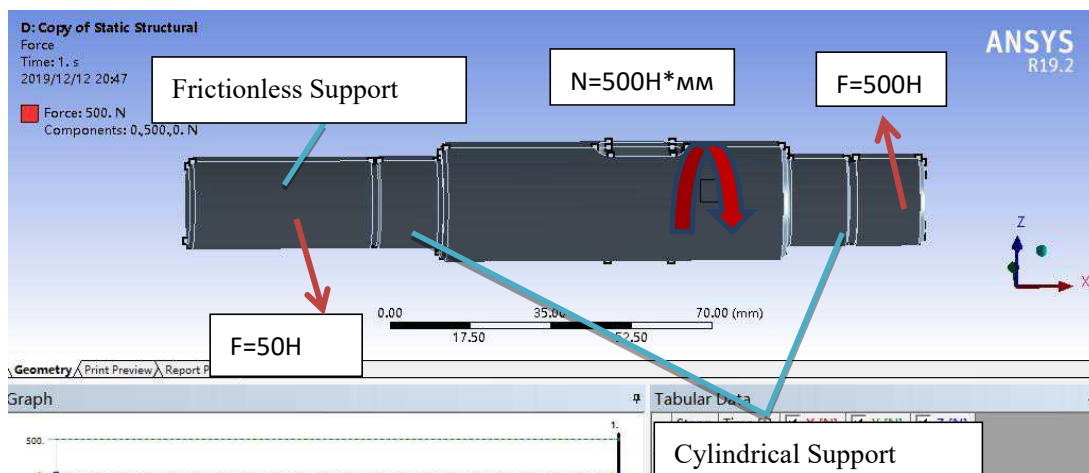


Распределение нормального напряжения в вертикальной плоскости.



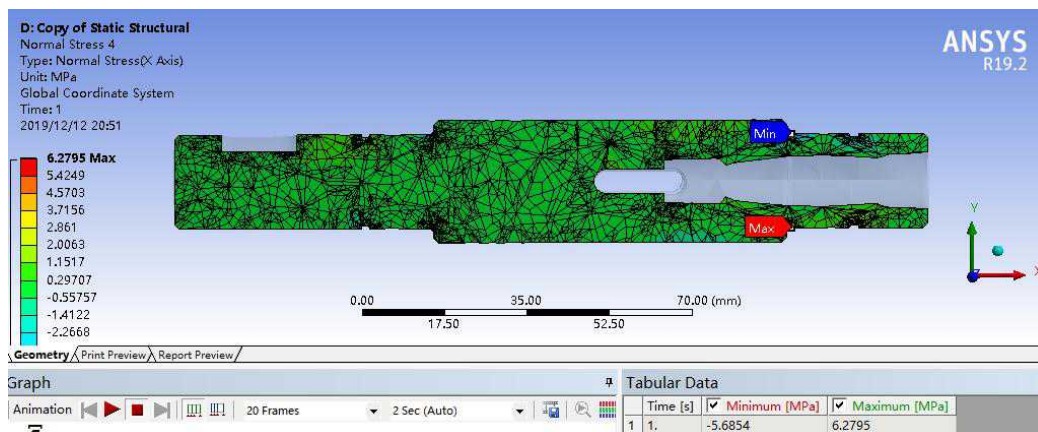
Положение 4.

Нагрузка при вращении шпинделя на 270 градусов выглядит следующим образом.

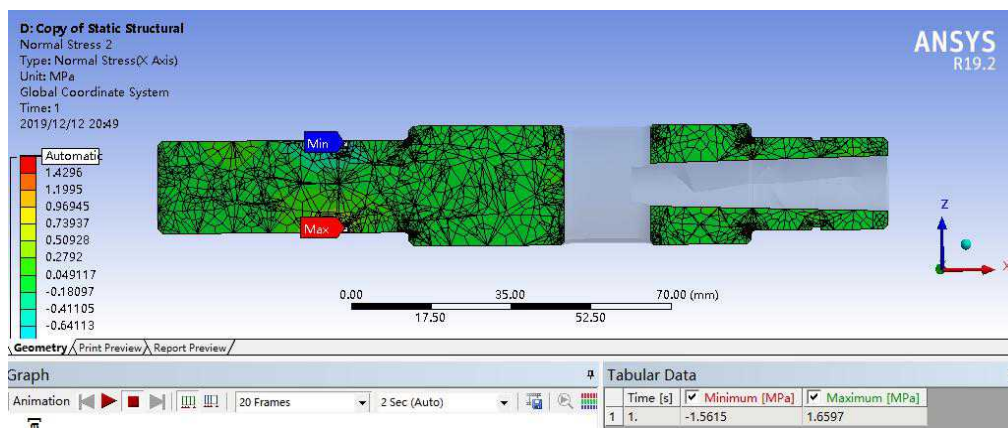


Силовая диаграмма 4.

Распределение нормального напряжения в горизонтальной плоскости.



Распределение нормального напряжения в вертикальной плоскости.



Исходя из результатов анализа, независимо от того, где расположен шпиндель, максимальное напряжение на горизонтальном сечении шпинделя расположено на опоре подшипника с правой стороны шпинделя. Максимальная нагрузка на его вертикальный сечение находится на опоре подшипника с левой стороны шпинделя. Результаты моделирования слишком согласуются с результатами теоретических расчетов.

Разница в распределении напряжений в положениях 1 и 3 заключается в том, что положения максимального растягивающего напряжения и максимального сжимающего напряжения распределены симметрично относительно оси. То есть положение, в котором максимальное растягивающее напряжение находится в положении 1, подвергается максимальному сжимающему

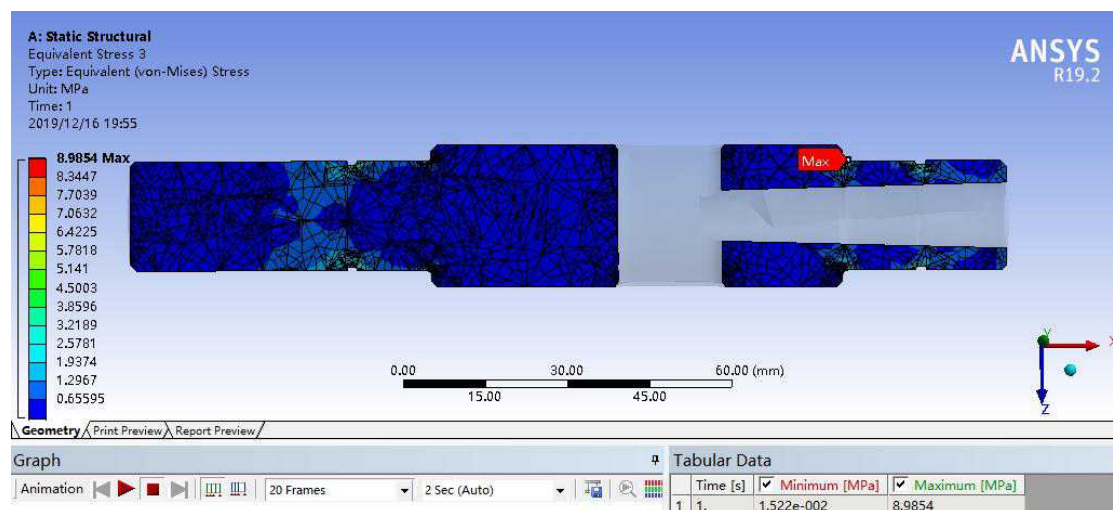
напряжению в положении 3. Позиции 2, 4 одинаковы.

Распределение эквивалентного напряжения в шпинделе.

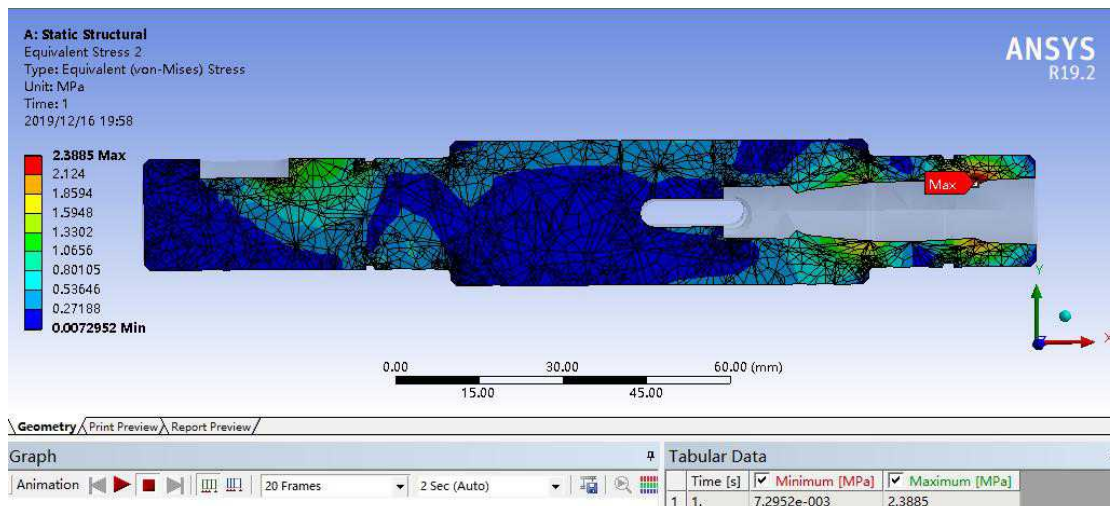
Чтобы проверить прочность шпинделя, необходимо анализировать максимальное эквивалентное напряжение шпинделя и сравнить с допустимым напряжением материала $[\sigma]$. Если измеренное максимальное эквивалентное напряжение меньше допустимого напряжения материала, делается вывод, что конструкция шпинделя соответствует требованиям прочности.

Мы берем положение 1 в качестве примера, чтобы выполнить анализ максимального эквивалентного напряжения шпинделя.

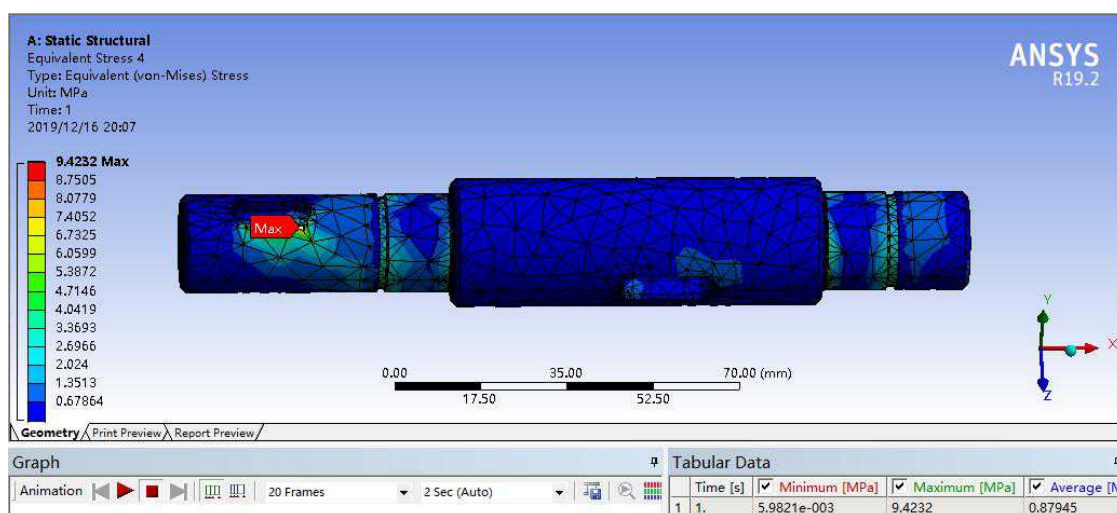
Распределение эквивалентного напряжения в горизонтальной плоскости.



Распределение эквивалентного напряжения в вертикальной плоскости.



Распределение эквивалентного напряжения в шпинделе.



Из изображения видно, что максимальное эквивалентное напряжение шпинделя находится на шпоночной канавке, а размер составляет 9,4232 МПа. Материал, используемый для шпинделя--сталь 40Х. Согласно таблице, допустимое напряжение при срезе составляет 120 МПа. Поэтому делается вывод, что шпиндель соответствует требованиям прочности.

Таким же образом мы анализируем эквивалентное напряжение в оставшихся трех позициях, и максимальные значения меньше допустимого напряжения материала.

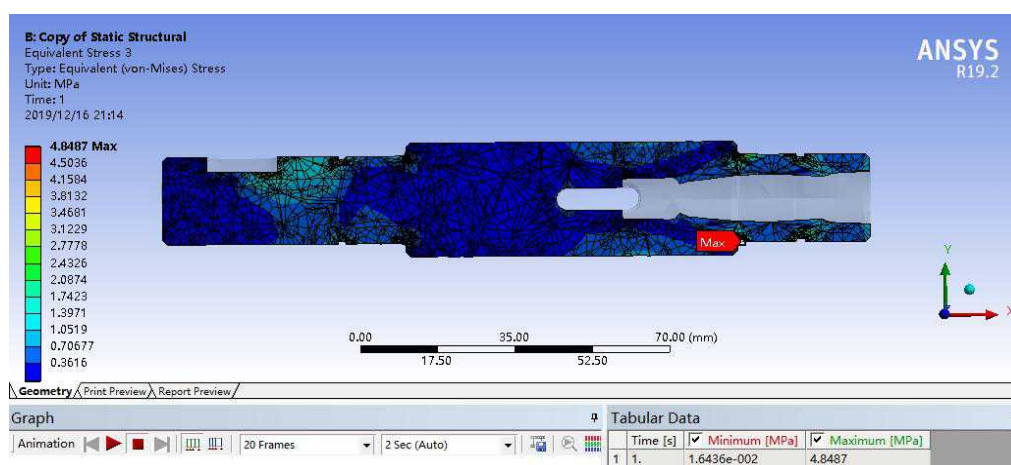
Механические свойства и допускаемые напряжения сталь 40Х.

Табл. 4

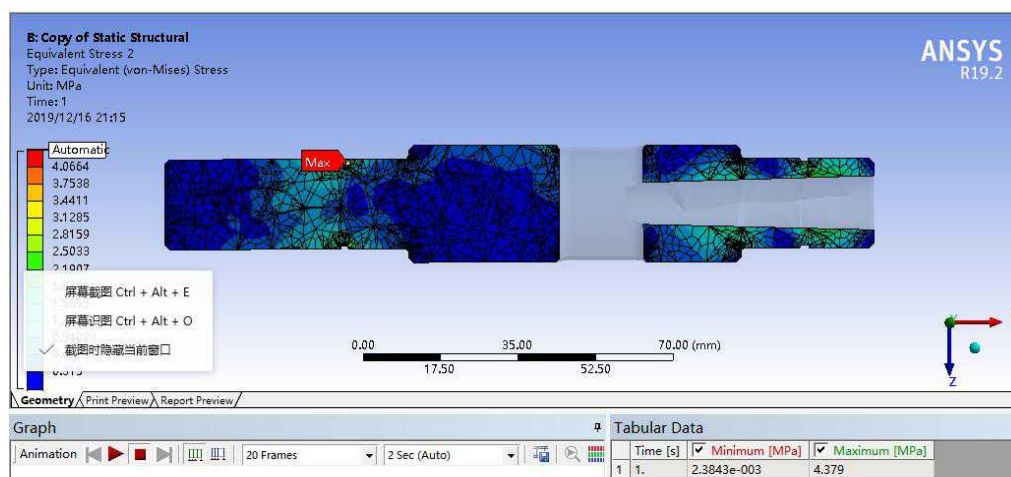
Марка стали	Временное сопротивление σ_B	Предел текучести σ_T	Допускаемые напряжения, МПа				
			при растяжении $[\sigma_p]$	при изгибе $[\sigma_{пз}]$	при кручении и $[\sigma_{кр}]$	при срезе $[\sigma_{ср}]$	при смятии $[\sigma_{см}]$
40X	630	330	200	240	150	120	300

Положение 2.

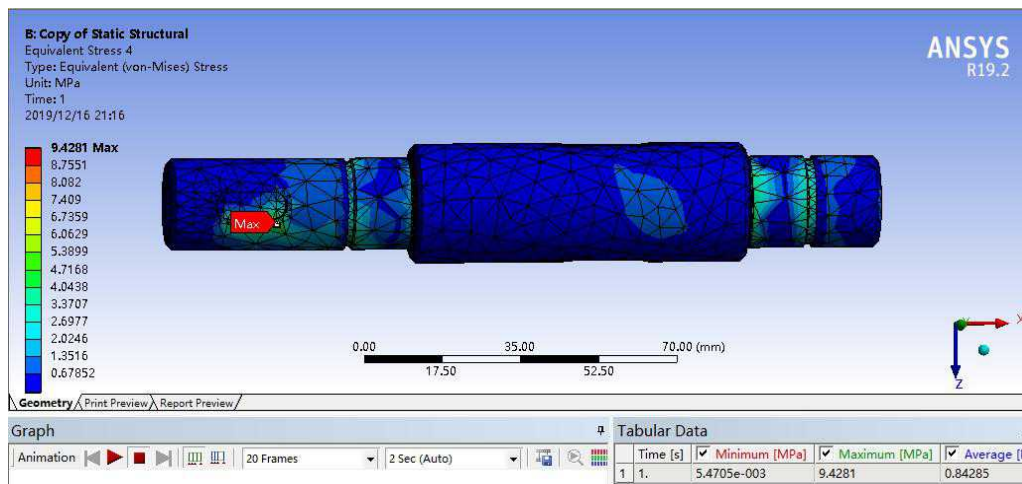
Распределение эквивалентного напряжения в горизонтальной плоскости.



Распределение эквивалентного напряжения в вертикальной плоскости.

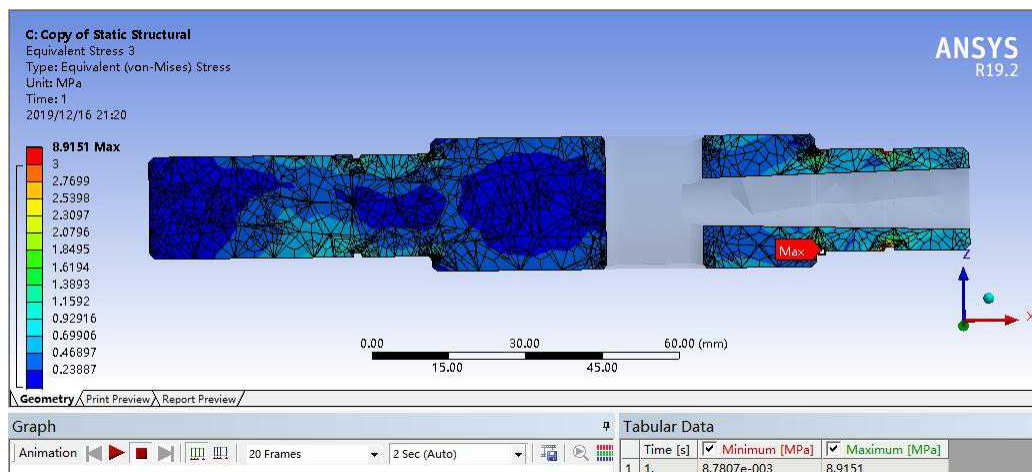


Распределение эквивалентного напряжения в шпинделе.

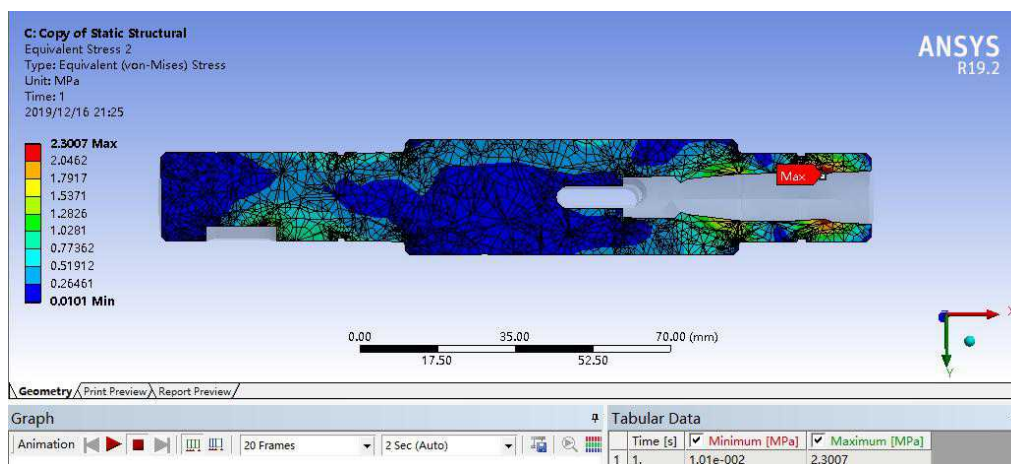


Положение 3.

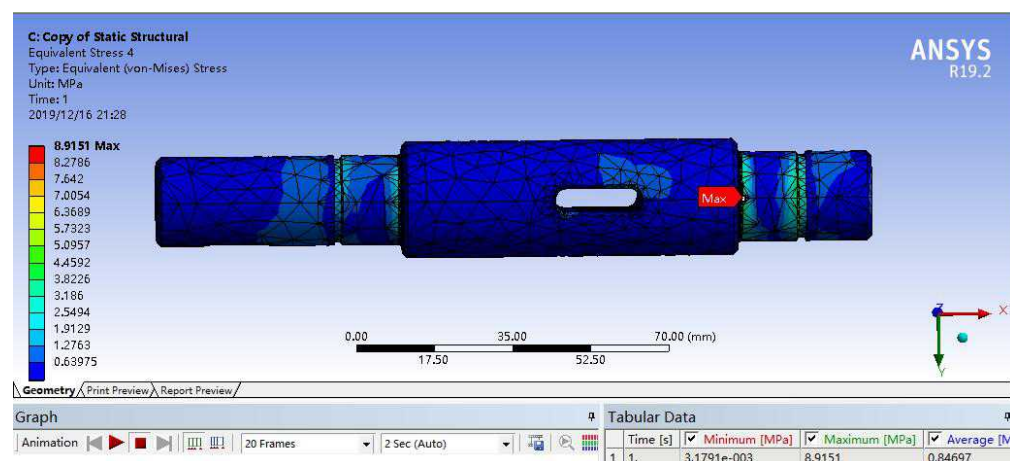
Распределение эквивалентного напряжения в горизонтальной плоскости.



Распределение эквивалентного напряжения в вертикальной плоскости.

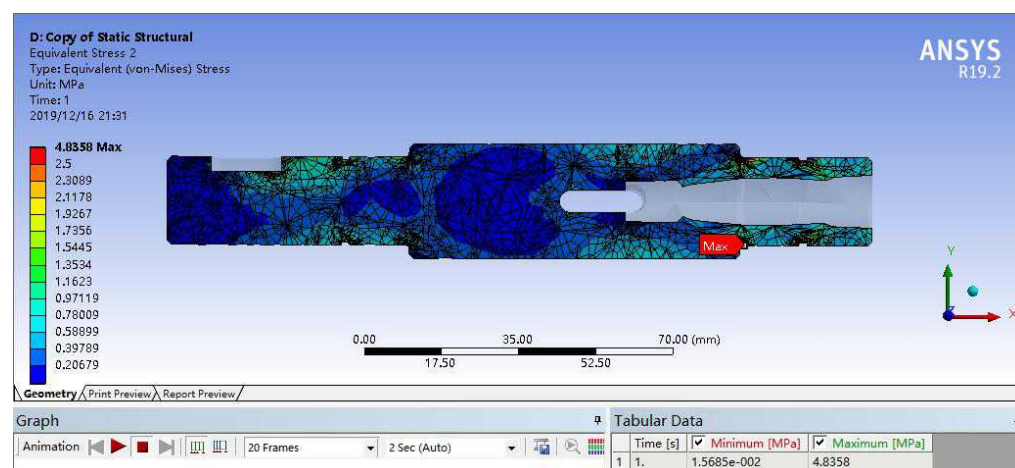


Распределение эквивалентного напряжения в шпинделе.

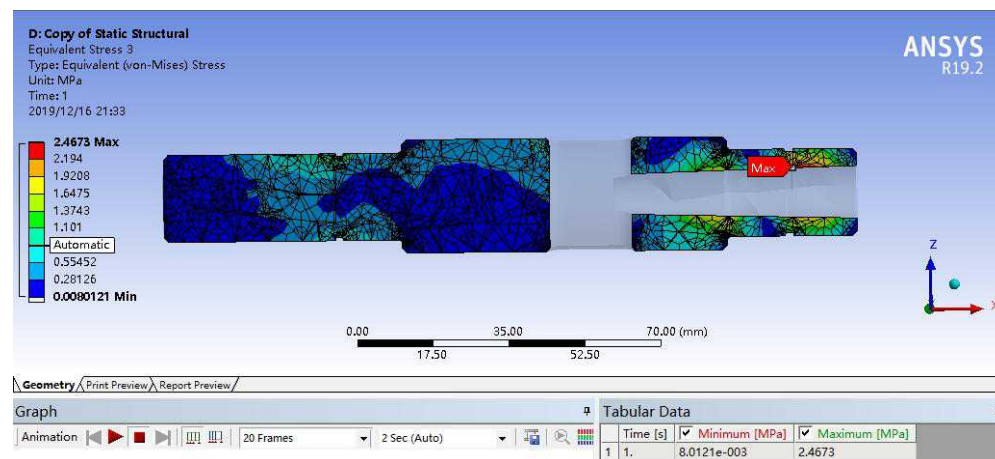


Положение 4.

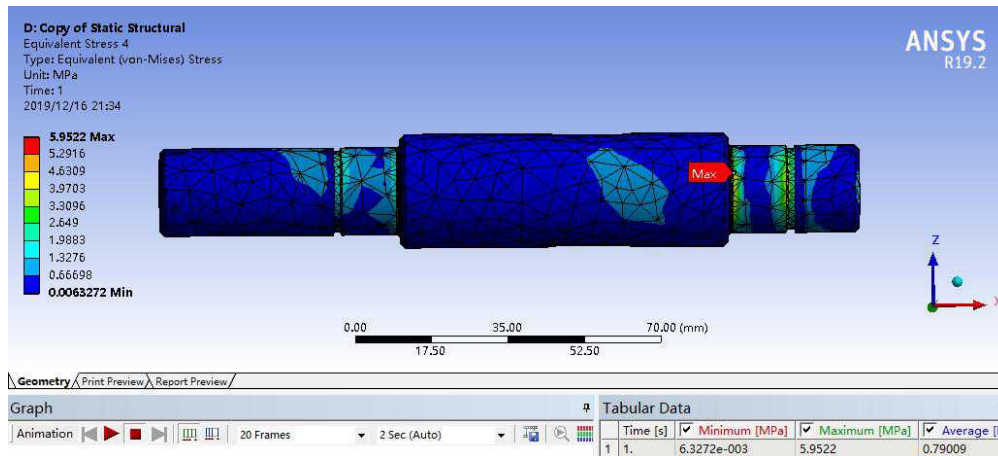
Распределение эквивалентного напряжения в горизонтальной плоскости.



Распределение эквивалентного напряжения в вертикальной плоскости.



Распределение эквивалентного напряжения в шпинделе.



Используйте программное обеспечение для анализа рабочего состояния шпинделя токарного станка. Наблюдалось распределение нормального напряжения горизонтального сечения и вертикального сечения, что согласуется с теоретическими расчетами и найдите область концентрации напряжений. После этого мы проанализировали эквивалентное распределение напряжений шпинделя во время работы и проверили прочность шпинделя. Поскольку максимальное эквивалентное напряжение намного меньше допустимого, делается вывод о соответствии шпинделя требованиям прочности.

4.1.4. Модальный анализ шпинделя.

Целью модального анализа является идентификация модальных параметров системы и обеспечение основы для анализа динамических характеристик конструкции, диагностики и прогнозирования вибрационных неисправностей, а также оптимального проектирования динамических характеристик конструкции.

Дифференциальное уравнение движения механической системы имеет вид:

$$[M]\{\ddot{x}\} + [C]\{\dot{x}\} + [K]\{x\} = \{Q\}$$

Где, $[M]$ - матрица полной массы, $[C]$ - матрица демпфирования, $[K]$ - матрица жесткости, $\{x\}$ - матрица столбца узловых перемещений, а $\{Q\}$ - матрица столбца приложенной силы возбуждения.

Модальный анализ заключается в решении собственных значений и собственных векторов уравнения движения без демпфирования и без внешней нагрузки, то есть упрощенное уравнение движения имеет вид:

$$[M]\{\ddot{x}\} + [K]\{x\} = \{0\}$$

Пусть массы системы совершают гармонические движения в соответствии с той же частотой и той же фазой, а именно:

$$\{x\} = \{A\}\sin(\omega t + \varphi)$$

Подставим дифференциальное уравнение для упрощения:

$$(\omega^2)^n + a_1(\omega^2)^{n-1} + a_2(\omega^2)^{n-2} + \dots + a_{n-1}(\omega^2) + a_n = 0$$

Это уравнение является характеристическим уравнением системы. Решение этого уравнения может найти n z корней в качестве собственных значений, и n собственных частот можно получить после квадратного корня, который называется собственными частотами первого порядка, второго порядка и n -го порядка в порядке возрастания.

Большая часть вибрации станка происходит от вибрации шпинделя станка. Вибрация шпинделя станка во время работы меняет относительное положение и скорость инструмента и обрабатываемой детали, что влияет на точность обработки и эффективность станка. Поэтому собственная частота и модели вибрации шпинделя станка являются важными индикаторами для анализа и оценки динамических характеристик станка.

Основываясь на модели статического анализа, мы выполняем модальный анализ на шпинделе, чтобы получить модели вибрации шестого порядка шпинделя, как показано на рисунке 29.

Из первых шести порядков формы вибрации шпинделя ясно видно, что происходит полная деформация шпинделя, собственная частота и другие параметры. Наблюдая за формой вибрации, показанным на рисунке 27, мы можем получить следующую информацию:

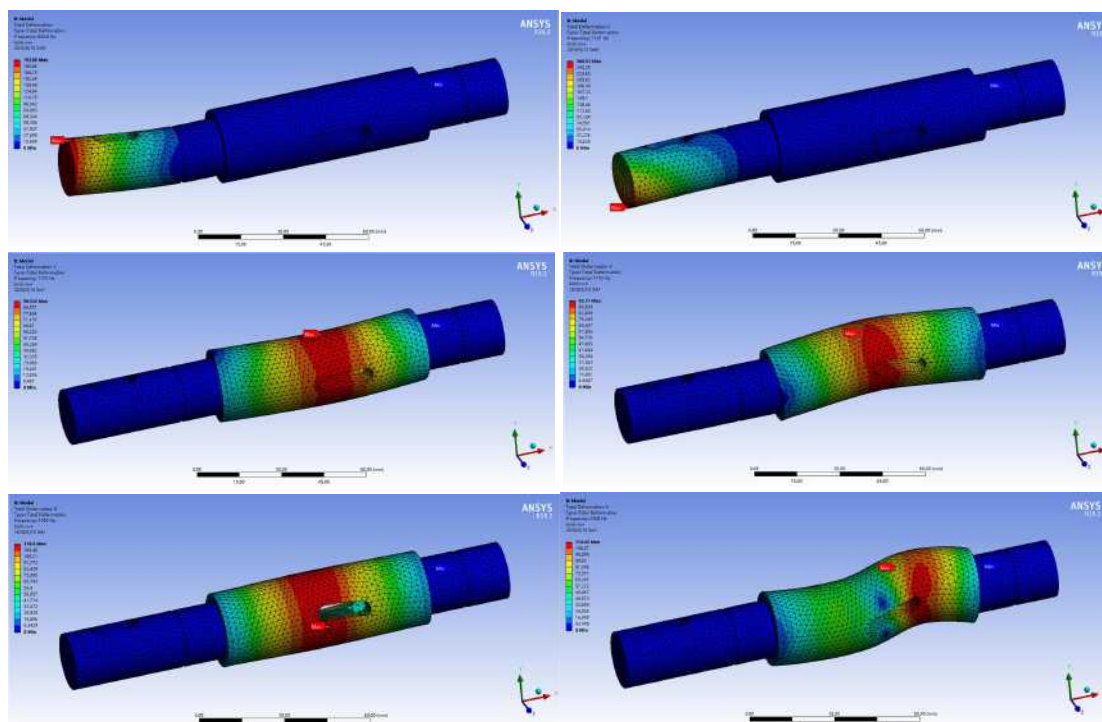


Рис. 29. Формы вибрации шестого порядка шпинделя

Форма вибрации первого порядка: хвост шпинделя слегка колеблется вдоль оси у вверх и вниз без значительной деформации передней половины шпинделя. Форма вибрации второго порядка: хвост шпинделя сильно колеблется, и передняя половина шпинделя не подвергается большой деформации; Форма вибрации третьего порядка: небольшая деформация в середине шпинделя. Форма вибрации четвертого порядка: большая деформация происходит в

середине шпинделя; Форма вибрации пятого порядка: радиальное расширение происходит в середине шпинделя; Форма вибрации шестого порядка: центральная часть шпинделя вибрирует в направлении оси Y, и величина вибрации велика.

Таблица 5. Первый модальный анализ 6-го порядка собственной частоты шпинделя.

Номер порядка	Частота / Гц	Форма вибрации
1	665	сгибание
2	1131	сгибание
3	1173	колебание
4	1183	колебание
5	1950	кручение
6	2365	колебание

Когда шпиндель вращается с критической скоростью, прогиб шпинделя достигнет максимального значения, а когда критическое состояние будет достигнуто, шпиндель будет сильно вибрировать, что приведет к уменьшению срока службы шпинделя и даже повреждению шпинделя. Соотношение между скоростью и частотой:

$$n=60f$$

Где: n - критическая скорость шпинделя, об / мин; f - собственная частота, Гц.

Исходя из собственной частоты формы вибрации первого порядка, критическая скорость шпинделя может быть рассчитана как 38688об / мин, что намного превышает максимальную скорость шпинделя, поэтому она соответствует проектным требованиям.

4.2. Сравнение характеристик трех материалов при подавлении вибрации на токарном станке

В этой статье, с целью уменьшения вибрации основания токарного станка, три стальных материала: сталь, камень и дерево, соответственно, наносятся на станину станка, а программное обеспечение для анализа методом конечных элементов используется для линейного динамического анализа трех вышеупомянутых материалов с точки зрения гармонического анализа, чтобы выявить преимущества древесины в подавлении вибрации в токарных станках.

Мы проводили анализ имитации вибрации станины станка под разными материалами, чтобы получить отклик вибрации станины станка под разными материалами.

Гармонический анализ используется для анализа отклика системы при простой гармонической вибрационной нагрузке. Для системы с одной степенью свободы уравнение движения после нагрузки простой гармонической вибрационной силы может быть выражено как

$$m\ddot{x} + c\dot{x} + kx = F_0 \cos(\omega t) \quad (1)$$

Где: ω - рабочая частота, c - коэффициент демпфирования, k - жесткость, F_0 - амплитуда силы. Решите формулу (1), чтобы получить отклик системы

$$x(t) = \frac{F_0}{\sqrt{(k - m\omega^2)^2 + c^2\omega^2}} \cos(\omega t - \phi) \quad (2)$$

Где: ϕ - фазовый угол, где отклик отстает от возбуждения. Из уравнения (2) можно видеть, что когда частота равна рабочей частоте,

система генерирует вибрацию, и смещение, скорость и ускорение выходного сигнала вибрации изменяются с максимальной амплитудой отклика.

4.2.1. Создание модели для симуляции.

Упрощая основание токарного станка, получается прямоугольный параллелепипед размером 400 * 500 * 100мм и поставить сетку (показано на рисунке 30), который используется в качестве модели для операции моделирования.

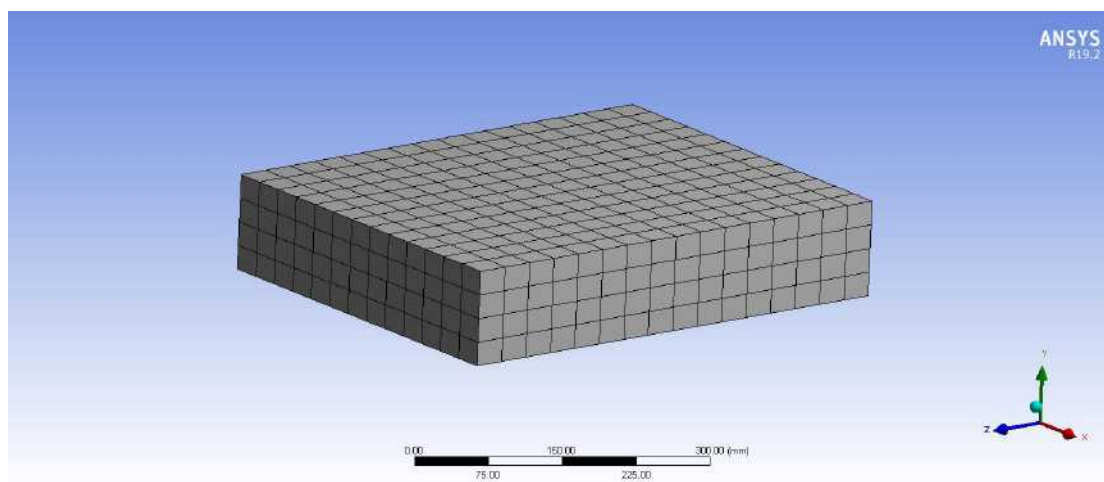


Рис. 30. 3D упрощенная модель станины станка

4.2.2. Определение параметров характеристики материала

Выбранные материалы - дерево, сталь и камень. Основные параметры характеристики каждого материала приведены в таблице.

Название материала	Модуль упругости, ГПа	Коэффициент Пуассона	Плотность, $\text{кг} \cdot \text{м}^{-3}$
дерево	9,8	0,0539	700

сталь	211	0,3	7900
камень	48	0,2	3000

4.2.3. Гармонический имитационный анализ модели

Моделируя установку и нагрузку на основание станка, мы ограничиваем модель следующим образом (Рис. 31). Нижний торец жестко ограничен, а верхний торец подвергается воздействию простой гармонической силы. Простая гармоническая нагрузка определяется тремя параметрами: амплитудой, частотой и фазовым углом. При определении частоты необходимо ввести диапазон частот и интервал решения. Во время моделирования сила составляет 1000 Н, диапазон частот составляет 0-1000 Гц, а интервал составляет 50 Гц.



Рис. 31. Сила и ограничение

При анализе гармонического отклика мы используем метод модальной суперпозиции. Этот метод может учитывать эффект предварительного напряжения и позволяет учитывать демпфирование. Результатом демпфирования в динамической системе является потеря энергии. Демпфирование, которое влияет на отклик, изменит собственную частоту структуры и ослабит амплитуду отклика.

Из-за различных факторов демпфирование является сложным явлением. Однако математическое выражение демпфирования очень

простое, и рассматривается вязкое демпфирование:

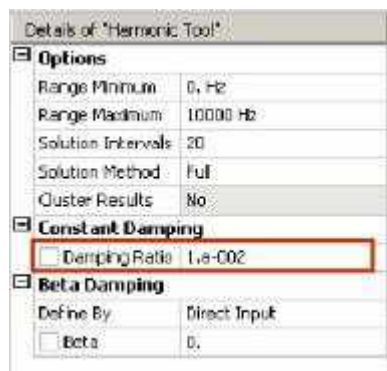
– Вязкая демпфирующая сила F_{damp} пропорциональна скорости, где c - постоянная демпфирования.

–Критическое демпфирован c_{cr} относится к значению демпфирования при отсутствии вибрации.

–Коэффициент демпфирования ξ относится к отношению фактического демпфирования c к критическому демпфированию c_{cr} .

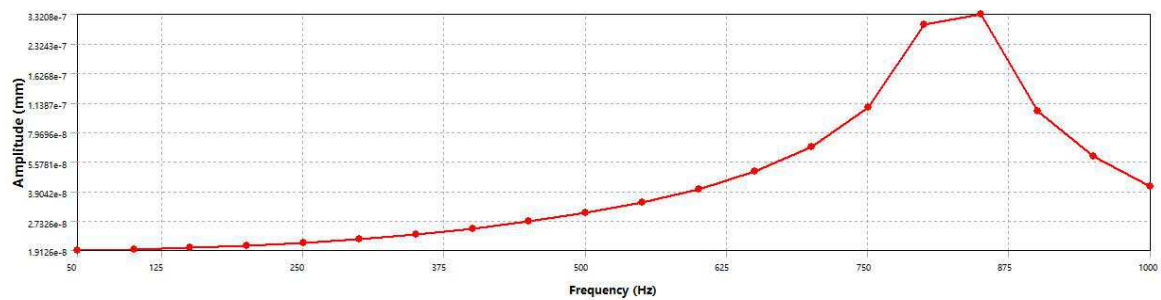
$$F_{damp} = c\dot{x} \quad \xi = \frac{c}{c_{cr}}$$

Коэффициент демпфирования будет непосредственно использоваться в методе модальной суперпозиции. В следующей таблице приведены коэффициенты демпфирования трех материалов.

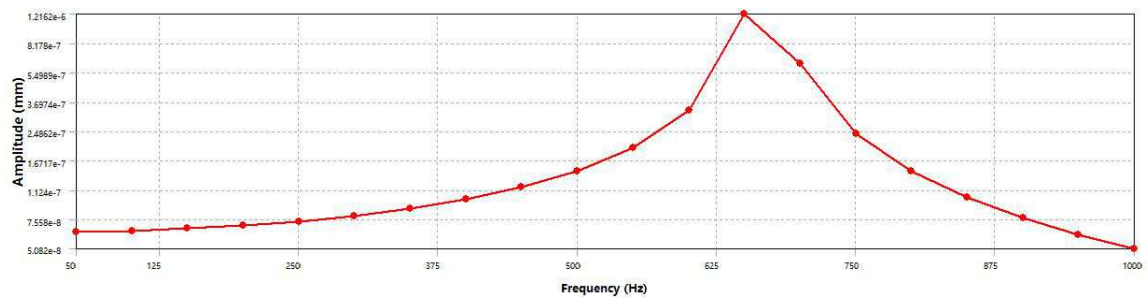


материала	величина ξ
дерево	0,3
сталь	0,005
камень	0,007

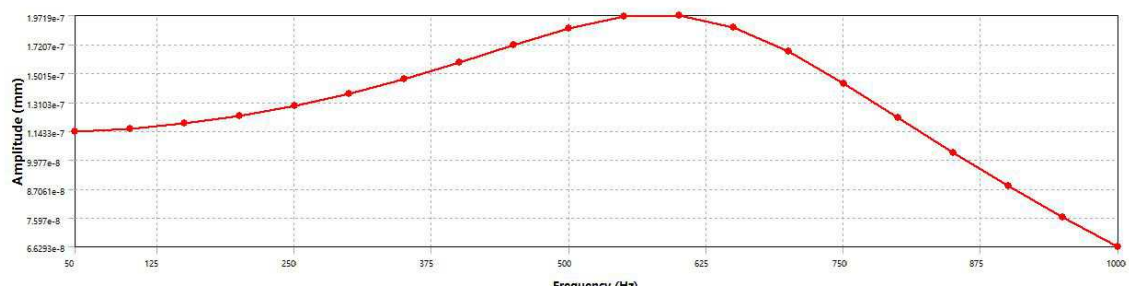
Выберите точку на верхней поверхности конструкции в качестве исследовательской поверхности вибрационного отклика. Смещение, скорость и ускорение основания различных материалов в этой точке показаны на рисунке 32-34.



(а) Сталь

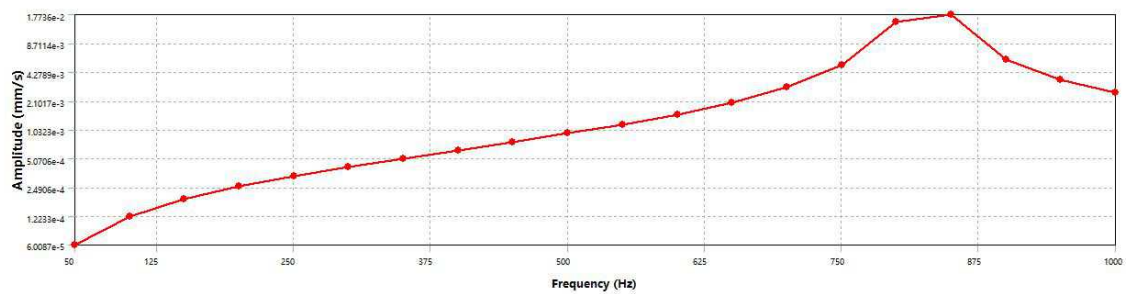


(б) Камень

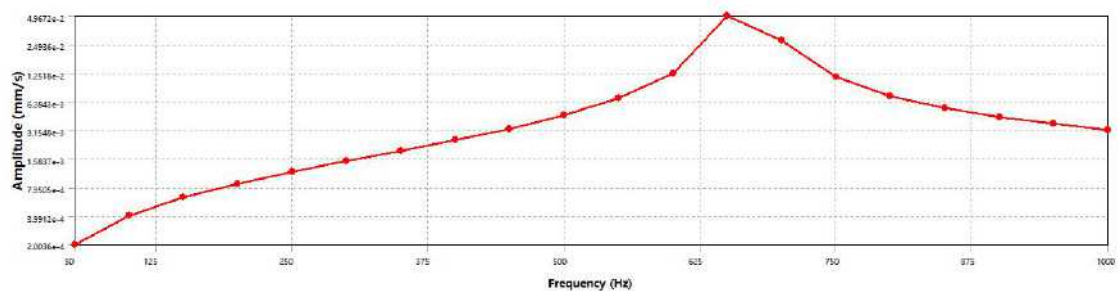


(в) дерево

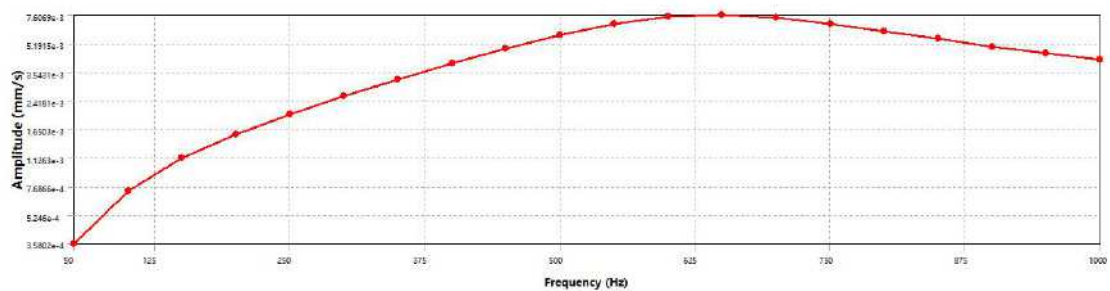
Рис. 32. Смещение вибрационного отклика гармонического анализа станины под различными материалами



(а) Сталь

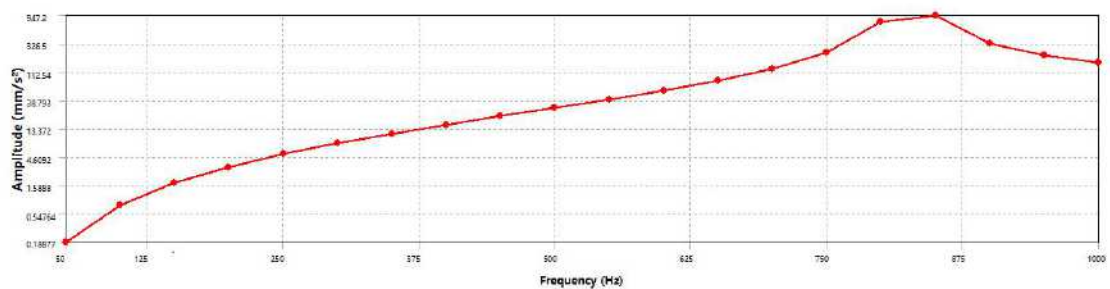


(б) Камень

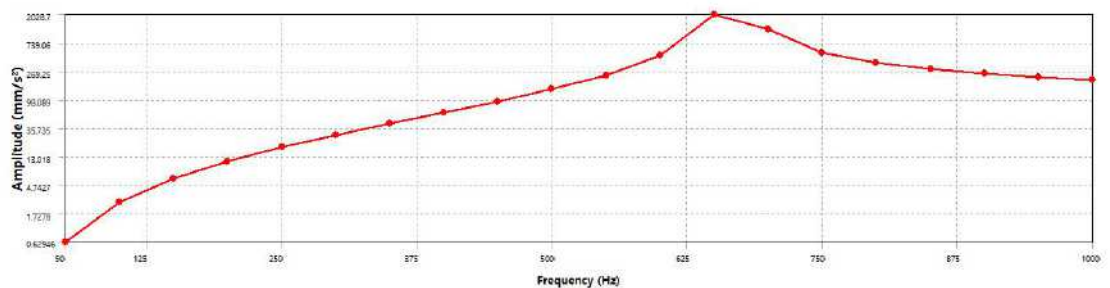


(в) дерево

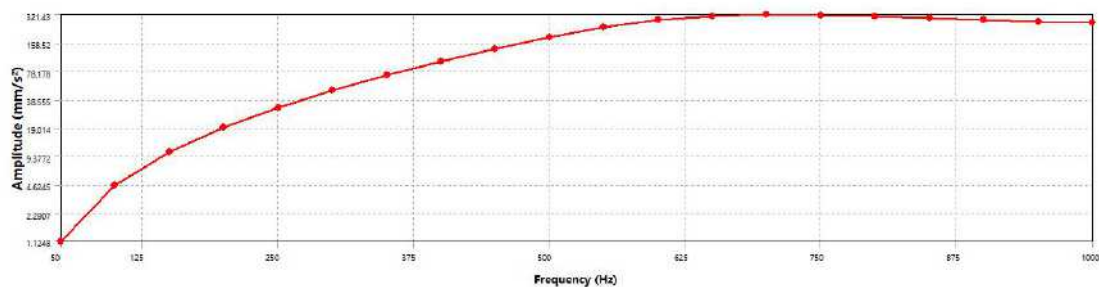
Рис. 33. Скорость вибрационного отклика гармонического анализа станины под различными материалами



(а) Сталь



(б) Камень



(в) дерево

Рис. 34. Ускорение вибрационного отклика гармонического анализа станины под различными материалами

Максимальное смещение, скорость и ускорение трех материалов появляются на собственной частоте. Из рисунков 32-34 видно, что основные характеристические параметры для разных материалов показаны в таблице.

Название материала	Максимальное смещение, мм	Максимальная скорость, мм*с ⁻¹	Максимальное ускорение, мм*с ⁻²
сталь	$3,32 \times 10^{-7}$	$1,77 \times 10^{-2}$	947,2
камень	$1,21 \times 10^{-6}$	$4,97 \times 10^{-2}$	2028,7
дерево	$1,97 \times 10^{-7}$	$7,6 \times 10^{-3}$	321,4

Из Таблицы видно, что максимальный отклик основания станка под разными материалами имеет место, когда собственная частота конструкции совпадает с рабочей частотой. Максимальное смещение основания из древесного материала является наименьшим, что может эффективно уменьшить вибрационное смещение во время процесса вибрации. Во всем диапазоне рабочих частот 0-1000 Гц скорость и ускорение камня самые большие, ускорение древесины

наименьшее, а скорость и ускорение стали несколько выше, чем у древесины, поэтому применение древесных материалов к основам станков превосходит стальные материалы с точки зрения подавления вибрации.

5. Экспериментальное планирование деформационной характеристики материала при алмазном выглаживании.

Цель работы: Определение деформационной характеристики процесса алмазного выглаживания и выявление зависимости между силовой характеристикой и вибрационной характеристикой.

Приборы и принадлежности: деревянный станок, алмазный индентор, державка, динамометр, образец стали, дюрومتر, датчики, компьютер.

Краткое теоретическое введение

Деформацией твердого тела называется изменение формы и объема тела. Деформация возникает в случае, когда различные части тела совершают неодинаковые перемещения. При деформации изменяются расстояния между частицами тела (атомами и молекулами). Деформации могут быть упругими или пластическими. Деформации считаются упругими, если тело возвращается к первоначальным размерам, после прекращения действия сил. Деформации, которые не исчезают после прекращения действия внешней силы, называются пластическими.

Мы уже знали кривую напряжение-деформация углеродистой стали при растяжении (Рис.35). По мере постепенного увеличения нагрузки материал проявляет различные механические свойства.

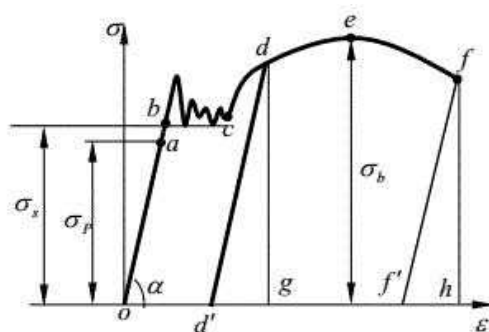


Рис. 35. Кривая напряжение-деформация.

На рисунке мы обращаем особое внимание на стадию упрочнения (сегмент се). После стадии текучести кривая напряжение-деформация показывает восходящую тенденцию, которая показывает, что сопротивление материала деформации увеличилось. При разгрузке на этом этапе кривая напряжения-деформации процесса разгрузки представляет собой прямую линию (например, наклон d-d'), и ее наклон приблизительно равен наклону участка прямой линии в упругой стадии. Когда нагрузка разгружается до нуля, деформация полностью не исчезает. Сразу после разгрузки, повторной загрузки отношение напряжение-деформация во время загрузки в основном изменяется по прямой линии во время разгрузки. Поэтому, если образец, который был пластически деформирован после разгрузки, снова подвергается испытанию на растяжение, его предел пропорциональности будет увеличен. Это явление называется наклёпом. Технология алмазного выглаживания использует этот принцип, чтобы вызвать пластическую деформацию поверхности металла под давлением, тем самым улучшая поверхностную прочность деталей. Ниже мы ищем кривую напряжения-деформации и кривую твёрдость-деформация материала при алмазном выглаживании.

Когда объект деформируется из-за внешних сил, создаются внутренние силы, которые взаимодействуют между различными частями объекта. Внутренняя сила на единицу площади называется напряжением. Деформация — это физическая величина, которая изменяет геометрию и размер объекта из-за внешних факторов. Деформация (удлинение или укорочение) определенного отрезка линии объекта, то есть отношение изменения длины отрезка к

исходной длине отрезка, выраженное символом ϵ ;

В ходе эксперимента будут измерены и рассчитаны различные напряжения и деформации путем приложения к деталям различных давлений (50 Н, 100 Н, 200 Н, 300 Н, 400 Н, 500 Н). Диаметр детали 20 мм, радиус сферы алмазной головки 1 мм. И результат отображается в виде кривой напряжения-деформации. (σ - ϵ)

Способность материала сопротивляться давлению твердых предметов на его поверхность называется твердостью. Твердость является важным показателем эффективности для измерения степени мягкости и твердости металлических материалов, ее можно понимать как способность материала противостоять упругой деформации, пластической деформации или разрушению, а также можно выражать как способность материала противостоять остаточной деформации и противодействию разрушению. После алмазного выглаживания твердость будет значительно улучшена. При различных давлениях степень пластической деформации поверхности деталей различна, поэтому твердость поверхности деталей после обработки также различна. Испытание на твердость подразделяют на метод статического давления (например, твердость по Бринеллю, твердость по Роквеллу, твердость по Виккерсу и т. Д.), Метод царапин (например, твердость по Моосу), метод обратного вызова (например, твердость по Шору).

Измерение твердости деталей, полученных при алмазном выглаживании в условии разных давлений, получена кривая твёрдость-деформации. (H- ϵ)

Вибрация - одно из самых распространенных явлений в природе. Различные формы физических явлений, включая звук, свет и тепло, содержат вибрации. Человеческое зрение стимулируется светом, и

свет, по сути, также является электромагнитной вибрацией, в жизни не может быть звука, а генерация, распространение и прием звука неотделимы от вибрации. В области инженерных технологий вибрационные явления также повсюду.

В эксперименте, путем изменения давления в алмазной головке, получены характеристики вибрации в процессе пластической деформации. Сбор данных и получена зависимость между силовой характеристикой и вибрационной характеристикой.

Задание

1. Получить кривую напряжения-деформации (σ - ϵ) и кривую твёрдость-деформации (H- ϵ) образца при алмазном выглаживании.
2. Получить амплитудно-частотные характеристики процесса алмазном выглаживании в условия разных давлениях.
3. Собрать данных и получить зависимость между силовой характеристикой и вибрационной характеристикой.

Результаты эксперимента

Построить таблицу и графики зависимости давления алмазной инденторы от напряжения σ , деформации ϵ , твёрдости детали, частоты и амплитуды при алмазном выглаживании.

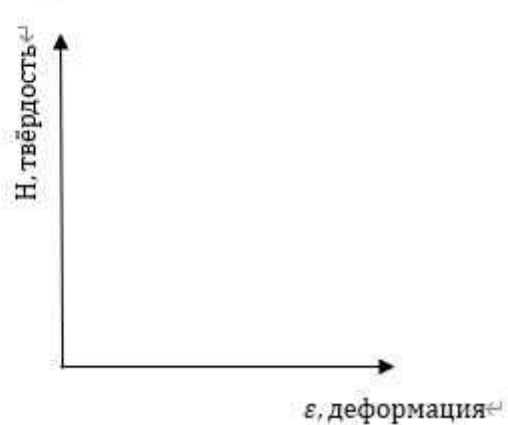
Стальной образец, D=20мм, r=1мм						
Номер измерения	F, Н	σ , МПа	ϵ	HB/HR	Частота, Hz	Амплитуда, мм
1	50					
2	100					
3	200					
4	300					

...	...					
-----	-----	--	--	--	--	--

Кривая $\varepsilon - \sigma$



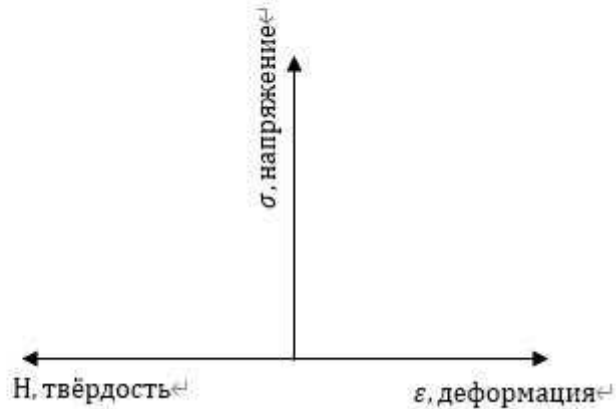
Кривая $\varepsilon - H$



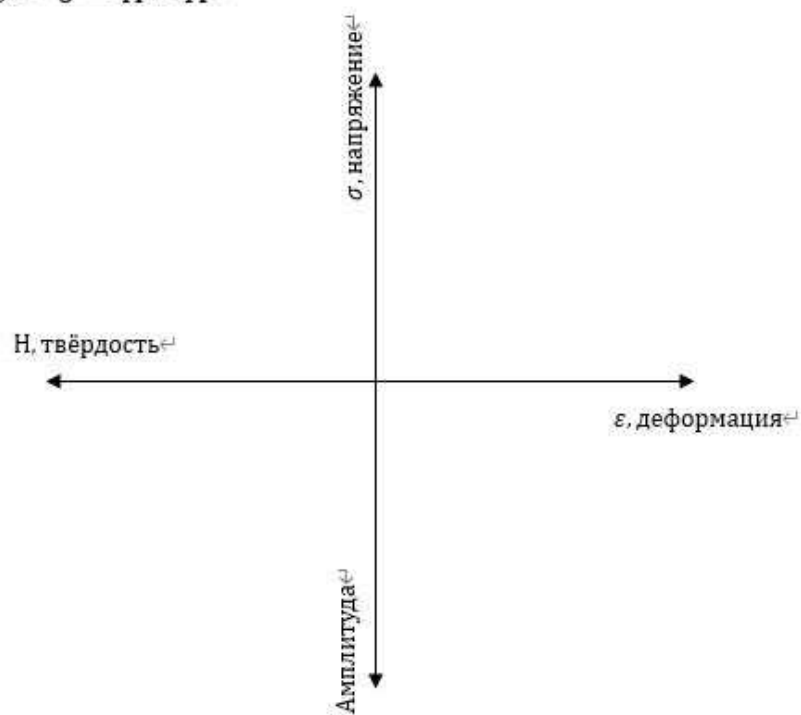
Кривая частотно-амплитуды



Кривая $\varepsilon - \sigma - H$



Кривая $\varepsilon - \sigma - H - A$



Заключение

В данной работе представлена технология алмазного выглаживания, которая содержит державку алмазного индентора, основные параметры процесса алмазного выглаживания и силу выглаживания. Также разработан и изготовлен деревянный токарный станок для исследования вибрации при алмазном выглаживании. Анализированы прочность и жесткость шпинделя токарного станка с помощью ANSYS. Представлены формы вибрации шестого порядка шпинделя, и критическая скорость шпинделя может быть рассчитана как 38688 об / мин, что намного больше, чем максимальная скорость шпинделя. Получены первые шесть собственных частот шпинделя в работе, что играет важную роль в предотвращении механического резонанса. Анализированы три различных материала станков с помощью ANSYS, сравнены амплитудно-частотные характеристики стали, дерева и камня. Сделан вывод о том, что вибростойкость древесины выше, чем у двух других материалов. Экспериментальная часть проектирована, но не была выполнена из-за коронавируса и оставлена для последующего исследования.

ЗАДАНИЕ ДЛЯ РАЗДЕЛА «ФИНАНСОВЫЙ МЕНЕДЖМЕНТ, РЕСУРСОЭФФЕКТИВНОСТЬ И РЕСУРСОСБЕРЕЖЕНИЕ»

Студент:

Группа	ФИО
4AM82	Ши Цзянань

Школа	ИШНПТ	Отделение	Материаловедения
Уровень образования	Магистратура	Направление/специальность	15.04.01 «Машиностроение»

Исходные данные к разделу «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение»:

1. Стоимость ресурсов научного исследования (НИ): материально-технических; энергетических; финансовых; информационных и человеческих; 2. Нормы и нормативы расходования ресурсов; 3. Используемая система налогообложения, ставки налогов, отчислений, дисконтирования и кредитования.	1. Объект - Специальный токарный станок для исследования вибрации алмазного выглаживания. 2. Ресурсы ТПУ (производственная площадка, лаборатория). 3. Конкуренты: «Shenyang Machine Tool», «HARMO». 4. Методические указания по проведению сравнительного анализа с конкурентами (оценочная карта технических решения).
--	--

Перечень вопросов, подлежащих исследованию, проектированию и разработке:

1. Оценка коммерческого и инновационного потенциала НТИ; 2. Планирование процесса управления НТИ: структура и график проведения, бюджет, риски и организация закупок; 3. Определение ресурсной, финансовой, экономической эффективности.	1. Оценка потенциальных потребителей; SWOT-анализ; оценка готовности проекта к коммерциализации. 2. Планирование этапов работы, определение календарного графика и трудоемкости разработки, расчет бюджета. 3. Интегральный финансовый показатель. Интегральный показатель 4. Ресурсоэффективности вариантов исполнения разработки.
--	--

Перечень графического материала (с точным указанием обязательных чертежей):

1. Карта сегментирования рынка 2. Оценочная карта 3. Матрица SWOT 4. Календарный план-график

Дата выдачи задания для раздела по линейному графику	16.03.20
--	----------

Задание выдал консультант:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент ОСГН	Якимова Т. Б.	к.э.н.		16.03.20

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
4AM82	Ши Цзянань		16.03.20

1. Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение

1.1 Общие сведения о научно-техническом исследовании

Целью магистерской работы является разработка и изготовление специального небольшого токарного станка для изучения проблем вибрации в процессе алмазного выглаживания.

Результаты исследования являются актуальными во многих отраслях, в особенности в прецизионном приборостроении и аэрокосмической промышленности. Они помогают получить вибрационные характеристики деталей во время обработки, чтобы выбрать оптимальные параметры обработки для повышения точности обработки деталей.

Достижение цели обеспечивается решением задач:

- определение возможных альтернатив проведения научных исследований, отвечающих современным требованиям в области ресурсоэффективности и ресурсосбережения;
- планирование научно-исследовательских работ;
- определение ресурсной (ресурсосберегающей), финансовой, бюджетной, социальной и экономической эффективности исследования.

1.2 Предпроектный анализ

Наиболее простым и эффективным методом отделочно-упрочняющей обработки является алмазное выглаживание.

Амплитудно-частотные характеристики процесса выглаживания до настоящего времени не исследованы. А большинство традиционных горизонтальных токарных станков, таких как токарно-винторезный станок 16K20, из-за зубчатой передаче в шпиндельной бабке, а их корпус и станина, изготовленные из чугуна, вызывают большие вибрации во время обработки. Такая большая вибрация делает невозможным конкретное изучение взаимосвязей вибрации между инструментами и деталями во время алмазного выглаживания.

Станина нашего разработанного токарного станка имеет деревянную структуру. Древесина обладает лучшими демпфирующими свойствами, чем металлические материалы, и ее легко обрабатывать, и она недорогая. Кроме того, в передаточном устройстве вместо зубчатой передачи используется синхронный ременный привод, который может не только обеспечить передаточное число, но и снизить влияние вибрации при работе на эксперимент.

1.2.1 Потенциальные потребители.

Для анализа потребителей необходимо рассмотреть целевой рынок и провести его сегментирование, которое в дальнейшем поможет найти области, где продвижение нового продукта будет наименее трудоемким. Целевым рынком являются отечественные исследовательские институты, машиностроительные компании и энтузиасты машиностроения, в основном занимающиеся различным анализом вибрации процессов технологии и обработкой мелких деталей.

1.2.2 Анализ конкурентных технических решений с позиции ресурсоэффективности и ресурсосбережения

Для сравнения эффективности результатов исследования,

необходимо провести сравнение токарного станка компании “Shenyang Machine Tool” и компании “HARMO”.

Таблица 6 – Карта сегментирования рынка

		Вид оборудования		
		Разработанное устройство	Устройство № 1	Устройство № 2
Компании	Крупные	+		
	Средние	+	+	+
	Мелкие	+	+	+

По карте сегментирования видно, что разработанное устройство является актуальным и впишется в рынок. Разработанное устройство представляет наибольший интерес для крупных машиностроительных компаний, а также и для небольших предприятий.

Большинство токарных станков на рынке являются универсальными, то есть они имеют многократное использование для удовлетворения реальных потребностей обработки. Этот тип токарного станка является громоздким и дорогим, и в качестве корпуса используется чугун, который имеет низкую виброустойчивость.

Таблица 7 – Оценочная карта для сравнения конкурентных решений

Критерии оценки	Вес критерия	Баллы			Конкурент-способность		
		Б _с	Б _{к1}	Б _{к2}	К _с	К _{к1}	К _{к2}
1	2	3	4	5	6	7	8
Технические критерии оценки ресурсоэффективности							
1. Производительность устройства	10	7	6	6	70	60	60
2. Удобство в эксплуатации	8	8	4	5	64	32	40
3. Энергоэкономичность	6	5	3	4	30	18	24
4. Надежность	8	8	7	6	64	56	48
5. Уровень шума	7	7	4	4	49	28	28
6. Безопасность	9	9	4	5	81	36	45
7. Простота эксплуатации	7	7	6	5	49	42	35
Экономические критерии оценки эффективности							

1. Конкурентоспособность продукта	9	7	7	7	63	63	63
2. Уровень проникновения на рынок	8	0	5	5	0	70	70
3. Цена	9	8	5	5	72	45	45
4. Предполагаемый срок эксплуатации	6	3	5	5	18	30	30
5. Послепродажное обслуживание	7	5	6	6	35	42	42
6. Срок выхода на рынок	6	0	6	6	0	36	36
Итого:	100	74	68	69	595	558	566

Разработанное устройство является конкурентоспособным, так как по многим показателям превосходит своих конкурентов (таб.7).
 Главные достоинства: Удобство в эксплуатации, уровень шума, относительно низкая цена.

1.2.3 SWOT-анализ

SWOT – Strengths (сильные стороны), Weaknesses (слабые стороны), Opportunities (возможности) и Threats (угрозы) – представляет собой комплексный анализ научно-исследовательского проекта. SWOT-анализ применяют для исследования внешней и внутренней среды проекта.

Таблица 8 - Матрица SWOT

	Сильные стороны	Слабые стороны
	<p>С1. Новизна идеи научного исследования.</p> <p>С2. Достаточная надежность устройства.</p> <p>С3. Виброустойчивость устройства.</p> <p>С4. Удобная транспортировка устройства.</p> <p>С5. Универсальность устройства.</p> <p>С6. Относительная дешевизна устройства.</p> <p>С7. Низкая энергоемкость устройства.</p> <p>С8. Простота эксплуатации.</p>	<p>Сл1. Продукт не продавался.</p> <p>Сл2. Трудоёмкость монтажа.</p> <p>Сл3. Нижняя скорости шпинделя.</p>
<p>Возможности:</p> <p>В1. Быстрое продвижение на рынок.</p> <p>В2. Появление дополнительного спроса на новый продукт</p> <p>В3. Сотрудничество с рядом новых организаций.</p> <p>В4. Усовершенствование устройства</p>	<p>В1С1С2С3С4С6С7 – быстрое продвижение на рынок в связи с преимуществами данного устройства.</p> <p>В2С2С3С4С5- дополнительный спрос может появиться за счёт универсальности устройства.</p> <p>В3С1С3С8 - Сотрудничество с рядом новых организаций.</p> <p>В4С2С3 – Умещение вибрации, регулируя структуру деталей токарного станка</p>	<p>В1Сл1 – может не быть быстрого продвижения на рынок так как ранее продукт не продавался, и потребители не знают о нем.</p> <p>В2Сл2Сл3 – появление дополнительного спроса может быть мало из-за ограничения функции устройства.</p> <p>В3Сл1 - сотрудничество с рядом новых организаций может не быть, так как ранее устройство не продавалось, и потребители не знают о нем.</p>
<p>Угрозы:</p> <p>У1. Отсутствие спроса на новые технологии производства.</p> <p>У2. Незаинтересованность потребителей в разработке</p> <p>У3. Конкуренция.</p> <p>У4. Кризис</p>	<p>У1С1С2С3 - устойчивость к борьбе с конкурентами за счет новизны идеи.</p> <p>У2С1С4С6С7С8 – возможность быстрого продвижения на рынок потребителей.</p> <p>У3С2С3С4С5 – возможность конкурировать в связи с хорошими показателями основных характеристик.</p>	<p>У1Сл1 – в связи с тем, что продукт не продавался, может быть, отсутствие спроса.</p> <p>У3Сл2Сл3 – из-за монтажа и ограничение функции могут возникнуть проблемы с продажей данного устройства.</p>

Таблица 9 – Интерактивная матрица проекта

Сильные стороны проекта									
Возможности проекта		C1	C2	C3	C4	C5	C6	C7	C8
	B1	+	+	+	+	-	+	+	-
	B2	-	+	+	+	+	-	-	-
	B3	+	-	+	-	-	-	-	+
	B4	-	+	+	-	-	-	-	-

Таблица 10 – Интерактивная матрица проекта

Слабые стороны проекта				
Возможности проекта		Сл1	Сл2	Сл3
	B1	+	-	-
	B2	-	+	+
	B3	+	-	-

Таблица 11 - Интерактивная матрица проекта

Сильные стороны проекта									
Угрозы		C1	C2	C3	C4	C5	C6	C7	C8
	У1	+	+	+	-	-	-	-	-
	У2	+	-	-	+	-	+	+	+
	У3	-	+	+	+	+	-	-	-

Таблица 12 - Интерактивная матрица проекта

Слабые стороны проекта				
Угрозы		Сл1	Сл2	Сл3
	У1	+	-	-
	У2	-	-	-
	У3	-	+	+

На основе результатов анализа матрицы можно сделать вывод, что трудности и проблемы, с которыми может столкнуться данный проект можно будет решить за счет имеющихся сильных сторон исследования.

1.3 Определение возможных альтернатив проведения научных исследований

Для определения возможных альтернатив проведения НИР необходимо провести морфологический анализ. При изготовлении устройства возможны два варианта исполнения. Эти варианты представлены в табл. 13.

Таблица 13 – Морфологический анализ

Наименование	Варианты	
	1	2
А. По конструкции привода	Зубчатая передача	Ременная передача
Б. По использованию материала	Чугун	Дерево

По данным занесенным в таблицу 13 можно выделить две принципиальные конструкции устройства: А1Б1 – исполнение 1; А2Б2 – исполнение 2.

2. Планирование научно-исследовательских работ

2.1 Структура работ в рамках научного исследования

Проект разбивается на этапы выполнения, для распределения задач с целью распределения заработной платы.

Таблица 14 – План научно – исследовательской работы

Основные этапы	№	Описание работы	Должность исполнителя
Постановка целей и задач	1	Постановка цели и задач, которые необходимо выполнить для достижения цели	Руководитель
Разработка технического задания	2	Составление и утверждение технического задания	Руководитель
Выбор направления исследований	3	Проведение литературного обзора	Студент
Теоретические и экспериментальные исследования Разработка технологической документации	4	Составление принципиальной схемы	Студент
	5	Выполнение расчетов	Студент
	6	Построение 3D модели устройства	Студент
	7	Разработка математической модели устройства	Студент
	8	Исследование математической модели в программной среде	Студент
Оформление отчета	9	Оформление пояснительной записки по результатам исследования	Студент

Таблица 15 - Перечень работ и продолжительность их выполнения

Этапы работы	Исполнители	Загрузка исполнителей
1	2	3
Постановка целей и задач	НР	НР – 100%
Разработка и утверждение ТЗ	НР, И	НР – 100% И – 10%
Подбор и изучение материалов по тематике	НР, И	НР – 20% И – 100%
Разработка календарного плана	НР, И	НР – 100% И – 40%
Поиск и анализ аналогичных устройств	НР, И	НР – 20% И – 100%
Составление принципиальной схемы	НР, И	НР – 20% И – 100%
Построение 3D модели устройства	И	И – 100%

Создание математической модели устройства	И	И – 100%
Проведение исследований	НР, И	НР – 20% И – 100%
Оформление пояснительной записки	И	И – 100%
Подведение итогов	НР, И	НР – 60% И – 100%

Для выполнения перечисленных в таблице 15 работ требуются специалисты: инженер «И» (исполнитель ВКР); научный руководитель «НР».

2.2 Определение трудоемкости выполнения работ

Трудоемкость выполнения научного исследования оценивается экспертным путем в человеко-днях и носит вероятностный характер, т.к. зависит от множества трудно учитываемых факторов. Для определения ожидаемого (среднего) значения трудоемкости:

$$t_{ожи} = \frac{3t_{mini} + 2t_{maxi}}{5} \quad (1)$$

Где $t_{ожи}$ – ожидаемая трудоемкость выполнения i -ой работы, чел.-дн.;

t_{mini} – минимально возможная трудоемкость выполнения заданной i -ой работы (оптимистическая оценка: в предположении наиболее благоприятного стечения обстоятельств), чел.-дн.;

t_{maxi} – максимально возможная трудоемкость выполнения заданной i -ой работы (пессимистическая оценка: в предположении наиболее неблагоприятного стечения обстоятельств), чел.-дн.

Исходя из ожидаемой трудоемкости работ, определяется продолжительность каждой работы в рабочих днях T_p , учитывающая параллельность выполнения работ несколькими

исполнителями. Такое вычисление необходимо для обоснованного расчета заработной платы, так как удельный вес зарплаты в общей сметной стоимости научных исследований составляет около 65 %.

$$T_{pi} = \frac{t_{ожi}}{Ч_i} \quad (2)$$

Где T_{pi} – продолжительность одной работы, раб. дн.;

$t_{ожi}$ – ожидаемая трудоемкость выполнения одной работы, чел.-дн.

$Ч_i$ – численность исполнителей, выполняющих одновременно одну и ту же работу на данном этапе, чел.

Таблица 16 - Ожидаемое время выполнения работы

Основные этапы	№ раб		$t_{ож}$, чел.-дн.
Разработка технического задания	1	Составление и утверждение технического задания	3,2
Выбор направления исследований	2	Изучение материалов по теме	9,8
	3	Проведение патентного обзора	3,8
Теоретические и экспериментальные исследования	4	Составление принципиальной схемы	3,2
	5	Выполнение расчетов	3,2
	6	Построение 3D модели устройства	7
	7	Создание математической модели устройства	9,8
	8	Исследование математической модели в программной среде	9,8
Оформление отчета	9	Заполнение пояснительной записки	4,6
Итого:			54,4

Расчет продолжительности одной работы не является необходимым, т.к. на каждой работе задействован один исполнитель, то есть $T_p = t_{ож}$.

Разработка графика проведения научного исследования строится в форме диаграммы Ганта. Для удобства построения, длительность каждого из этапов работ из рабочих дней необходимо

перевести в календарные дни.

$$T_{ki} = T_{pi} \cdot k_{\text{кал}} \quad (3)$$

Где T_{ki} - продолжительность выполнения i -й работы в календарных днях;

T_{pi} - продолжительность выполнения i -й работы в рабочих днях;

$k_{\text{кал}}$ - коэффициент календарности.

Коэффициент календарности определяется по следующей формуле:

$$k_{\text{кал}} = \frac{T_{\text{кал}}}{T_{\text{кал}} - T_{\text{вых}} - T_{\text{пр}}} \quad (4)$$

Где $T_{\text{кал}}$ - количество календарных дней в году;

$T_{\text{вых}}$ - количество выходных дней в году;

$T_{\text{пр}}$ - количество праздничных дней в году.

Результаты расчетов приведены в таблица 17.

Табл. 17 - Временные показатели проведения научного исследования

Название работы	Трудоемкость работ			Исполнители	Длительность работ в рабочих днях, T_p	Длительность работ в календарных днях, T_k
	t_{\min}	t_{\max}	$t_{\text{ож}}$			
Составление утверждение ТЗ	2	5	3,2	Руководитель	3,2	5
Изучение материала по теме	7	14	9,8	Студент	9,8	14
Проведение литературного обзора	3	5	3,8	Студент	3,8	5
Составление принципиальной	2	5	3	Студент	3,2	5

схемы						
Выполнение расчетов	2	5	3,2	Студент	3,2	5
Построение 3D модели устройства	5	10	7	Студент	7	10
Создание математической модели устройства	7	14	9,8	Студент	9,8	14
Исследование математической модели в программной среде	7	14	9,8	Студент	9,8	14
Заполнение пояснительной записки	3	7	4,6	Студент	4,6	7

$$k_{\text{кал}} = \frac{366}{366 - 105 - 14} = 1,49$$

Таблица 18 - Календарный план-график проведения НИОКР по теме

№ работ	Вид работ	Исполнители		Продолжительность выполнения работ						
				Март	Апрель			Май		
				3	1	2	3	1	2	3
1	Составление и утверждение технического задания	Руководитель	5							
2	Изучение материалов по теме	Студент	14							
3	Проведение патентного обзора	Студент	5							
4	Составление Принципиальной схемы	Студент	5							
5	Выполнение расчетов	Студент	5							
6	Построение 3D модели устройства	Студент	10							

7	Создание математической модели согласно ТЗ	Студент	14							
8	Исследование математической модели в программной среде	Студент	14							
9	Заполнение пояснительной записки	Студент	7							

2.3 Расчет материальных затрат НТИ

Расчет материальных затрат осуществляется по следующей формуле:

$$Z_m = (1 + k_T) \cdot \sum_{i=1}^m C_i \cdot N_{расхi} \quad (5)$$

где m – количество видов материальных ресурсов, потребляемых при выполнении научного исследования;

$N_{расхi}$ – количество материальных ресурсов i -го вида, планируемых к использованию при выполнении научного исследования (шт., кг, м, м² и т.д.);

C_i – цена приобретения единицы i -го вида потребляемых материальных ресурсов (руб./шт., руб./кг, руб./м, руб./м² и т.д.);

k_T – коэффициент, учитывающий транспортно-заготовительные расходы.

Значения цен на материальные ресурсы могут быть установлены по данным, размещенным на соответствующих официальных сайтах в интернете предприятиями-изготовителями

(либо организациями-поставщиками).

Величина коэффициента (k_T), отражающего соотношение затрат по доставке материальных ресурсов и цен на их приобретение, зависит от условий договоров поставки, видов материальных ресурсов, территориальной удаленности поставщиков и т.д. Транспортные расходы принимаются в пределах 15-25% от стоимости материалов. Основные материальные затраты, необходимые для устройства, заносятся в таб. 19.

Таблица 19 - Материальные затраты

Наименование	Ед. изм.	Количество		Цена за ед., руб.		Затраты на материалы, руб.	
		Исп.1	Исп.2	Исп.1	Исп.2	Исп.1	Исп.2
Винты с шестигранной головкой	шт.	22	22	2	2	44	44
Синхронный ремень	шт.	2	2	300	300	600	600
Гайки шестигранные	шт.	30	30	2	2	60	60
Шайбы	шт.	30	30	1	1	30	30
Пруток	шт.	4	4	100	100	400	400
Двигатель	шт.	2	2	800	800	1600	1600
Дерево	шт.	-	4	-	50	-	200
Шуруп	шт.	-	30	-	2	-	60
Чугун	шт.	4	-	90	-	360	-
Итого расходы на материалы						3094	2994

2.4 Основная заработная плата исполнителей

Величина расходов по заработной плате определяется исходя из трудоемкости выполняемых работ и действующей системы окладов.

Расчет основной заработной платы сводится в табл. 20.

Таблица 20 - Расчет основной заработной платы

№ п/п	Наименование этапа	Исполнители	Трудоемкость, чел.-дн, руб	Заработная плата на один чел.-дн., руб.	Всего заработная плата по тарифу, руб.
1	Составление и утверждение ТЗ	Руководитель	3,2	1320	4224
2	Изучение материалов по теме	Студент	9,8	888	8702,4

3	Проведение литературного обзора	Студент	3,8	888	3374,4
4	Составление принципиальной схемы	Студент Руководитель	5,2	1104	5740,88
5	Построение расчётной схемы и математической модели	Студент	3,2	888	2841,6
6	Выполнение расчётов	Студент	7	888	6216
7	Исследование математической модели	Студент	9,8	888	8702,4
8	Заполнение пояснительной записки	Студент	4,6	888	4084,8
	ИТОГО				19003,2

Статья включает основную заработную плату работников, непосредственно занятых выполнением НИИ, (включая премии, доплаты) и дополнительную заработную плату:

$$Z_{\text{зп}} = Z_{\text{осн}} + Z_{\text{доп}} \quad (6)$$

Где $Z_{\text{осн}}$ – основная заработная плата;

$Z_{\text{доп}}$ – дополнительная заработная плата (12-20 % от $Z_{\text{осн}}$).

Основная заработная плата ($Z_{\text{осн}}$) руководителя (лаборанта, инженера) от предприятия (при наличии руководителя от предприятия) рассчитывается по следующей формуле:

$$Z_{\text{осн}} = Z_{\text{дн}} \cdot T_p \quad (7)$$

Где $Z_{\text{осн}}$ – основная заработная плата одного работника;

T_p – продолжительность работ, выполняемых научно-техническим работником, раб. дн.

$Z_{\text{дн}}$ – среднедневная заработная плата работника, руб.

Среднедневная заработная плата рассчитывается по формуле:

$$З_{\text{дн}} = \frac{З_{\text{м}} \cdot М}{F_{\text{д}}} \quad (8)$$

Где $З_{\text{м}}$ – месячный должностной оклад работника, руб.;

$М$ – количество месяцев работы без отпуска в течение года: при отпуске в 24 раб. дня $М=11,2$ месяца, 5-дневная неделя; при отпуске в 48 раб. дней $М=10,4$ месяца, 6-дневная неделя;

$F_{\text{д}}$ – действительный годовой фонд рабочего времени научно-технического персонала, раб. дн. (табл. 21).

Таблица 21 - Баланс рабочего времени

Показатели рабочего времени	Руководитель	Студент
Календарное число дней	366	366
Количество нерабочих дней		
- выходные дни	105	105
- праздничные дни	14	14
Потери рабочего времени		
- отпуск	48	48
- невыходы по болезням	-	-
Действительный годовой фонд рабочего времени	195	195

$$З_{\text{дн1}} = \frac{З_{\text{м}} \cdot М}{F_{\text{д}}} = \frac{24750 \cdot 10,4}{195} = 1320 \text{ руб.} - \text{заработная плата руководителя}$$

за 1 день;

$$З_{\text{дн2}} = \frac{З_{\text{м}} \cdot М}{F_{\text{д}}} = \frac{15460 \cdot 11,2}{195} = 888 \text{ руб.} - \text{заработная плата студента за 1}$$

день;

$$З_{\text{осн1}} = 1320 \cdot 3,2 = 4224 \text{ руб.} - \text{руководитель;}$$

$$З_{\text{осн2}} = 888 \cdot 51 = 45288 \text{ руб.} - \text{студент.}$$

$$З_{\text{зп1}} = 4224 + 844,8 = 5068,8 \text{ руб.} - \text{руководитель;}$$

$$З_{\text{зп2}} = 45288 + 9057,6 = 54345,6 \text{ руб.} - \text{студент.}$$

2.5 Дополнительная заработная плата исполнителей темы

Затраты по дополнительной заработной плате исполнителей темы учитывают величину предусмотренных ТК РФ доплат за отклонение от нормальных условий труда, а также выплат, связанных с обеспечением гарантий и компенсаций. Расчет дополнительной заработной платы ведется по следующей формуле:

$$З_{\text{доп}} = k_{\text{доп}} \cdot З_{\text{осн}} \quad (9)$$

где $k_{\text{доп}}$ – коэффициент дополнительной заработной платы (на стадии проектирования принимается равным 0,15 – 0,2).

$$З_{\text{доп1}} = 0,2 \cdot 4224 = 844,8 \text{ руб.} \text{ – руководитель.}$$

$$З_{\text{доп2}} = 0,2 \cdot 45288 = 9057,6 \text{ руб.} \text{ – студент.}$$

2.6 Отчисления во внебюджетные фонды

Величина отчислений во внебюджетные фонды определяется исходя из следующей формулы, руб:

$$З_{\text{внеб}} = k_{\text{внеб}} \cdot (З_{\text{осн}} + З_{\text{доп}}) \quad (10)$$

где $k_{\text{внеб}}$ – коэффициент отчислений на уплату во внебюджетные фонды (пенсионный фонд, фонд обязательного медицинского страхования и пр.). Отчисления во внебюджетные фонды представлены в табл. 22.

Таблица 22. Отчисления во внебюджетные фонды

Исполнитель	Основная заработная плата, руб.	Дополнительная заработная плата, руб.
-------------	---------------------------------	---------------------------------------

Руководитель проекта	4224	844,8
Студент-дипломник	45288	9057,6
Коэффициент отчислений во внебюджетные фонды	30,2%	30,2%
Итого	1530,78+16412,37=17943,15	

$$З_{внеб} = k_{внеб} \cdot (З_{осн} + З_{доп}) = 30,2\% \cdot (4224 + 844,8) = 1530,78$$

– руководитель

$$З_{внеб} = k_{внеб} \cdot (З_{осн} + З_{доп}) = 30,2\% \cdot (45288 + 9057,6) = 16412,37$$

– студент

2.7 Оплата работ, выполняемых сторонними организациями и предприятиями

Данные расходы включают затраты, связанные с выполнением каких-либо работ по теме сторонними организациями.

В проекте необходимо рассчитать контрагентные расходы. Под данные расходы попадают расходы на оплату труда токаря. В таблице 23 представлены данные оплаты труда токаря.

Таблица 23 – Контрагентные расходы

№ п/п	Профессия	Количество деталей	Количество работников	Разряд рабочего
1	Токарь	6	1	3

Для сборки устройства необходимо собрать 6 элементов. Заказ будет выполняться на другом заводе. Оклад токаря на другом заводе 8000 р. На выполнение работ отводится 2 дня. Подсчитаем зарплату токаря за 2 дня на другом заводе. Результаты расчетов представлены в таблице 19. Заработная плата рассчитывается по

методике из разд. 2. 4., отчисления во внебюджетные фонды по методике 2. 6.

Таблица 24 - Оплата труда сторонних исполнителей

Исполнитель	Основная заработная плата, руб.
Токарь	920
Коэффициент отчислений во внебюджетные фонды	30%
Отчисления во внебюджетные фонды	331

$$З_{\text{дн}} = \frac{8000 \cdot 11,2}{195} = 460 \text{ руб.}$$

$$З_{\text{осн}} = 460 \cdot 2 = 920 \text{ руб.}$$

$$З_{\text{зп}} = 920 + 184 = 1104 \text{ руб.}$$

$$З_{\text{внеб}} = 30\% \cdot 1104 = 331,2 \text{ руб.}$$

2.8 Накладные расходы

Накладные расходы учитывают прочие затраты организации, не попавшие в предыдущие статьи расходов: печать и ксерокопирование материалов исследования, оплата услуг связи, электроэнергии, почтовые и телеграфные расходы, размножение материалов и т.д. Их величина определяется по следующей формуле:

$$З_{\text{накл}} = (\text{сумма статей } 1/7) \cdot k_{\text{нр}}$$

(11)

Где $k_{\text{нр}}$ – коэффициент, учитывающий накладные расходы.

Коэффициент накладных расходов принимаем в размере 16%.

2.9 Формирование бюджета затрат научно-исследовательского проекта

Рассчитанная величина затрат НИР является основой для формирования бюджета затрат проекта, который при формировании договора с заказчиком защищается научной организацией в качестве нижнего предела затрат на разработку научно-технической продукции. Определение бюджета затрат на НИР по каждому варианту исполнения приведен в табл. 25.

Таблица 25 – Расчет бюджета затрат НТИ

Наименование статьи	Сумма, руб.		Примечание
	Исп.1	Исп.2	
1. Материальные затраты НТИ	3094	2994	Пункт 2.3
2. Затраты по основной заработной плате исполнителей темы	49512	49512	Пункт 2.4
3. Затраты по дополнительной заработной плате исполнителей темы	9902,4	9902,4	Пункт 2.5
4. Отчисления во внебюджетные фонды	17943,15	17943,15	Пункт 2.6
5. Контрагентские расходы	1417	1417	Пункт 2.7
6. Накладные расходы	12804,3	12788,3	16 % от суммы ст. 1-5
7. Бюджет затрат НТИ	93831	92715	Сумма ст. 1- 6

3 Определение ресурсной, финансовой, бюджетной, социальной и экономической эффективности исследования

Определение эффективности происходит на основе расчета интегрального показателя эффективности научного исследования.

Его нахождение связано с определением двух средневзвешенных

величин: финансовой эффективности и ресурсоэффективности.

Интегральный показатель финансовой эффективности научного исследования получают в ходе оценки бюджета затрат двух вариантов исполнения научного исследования. Для этого наибольший интегральный показатель реализации технической задачи принимается за базу расчета, с которым соотносятся финансовые значения по всем вариантам исполнения.

Интегральный финансовый показатель разработки определяется как:

$$I_{\text{инр}}^{\text{исп.}i} = \frac{\Phi_{pi}}{\Phi_{\text{max}}}$$

(12)

Где $I_{\text{инр}}^{\text{исп.}i}$ – интегральный финансовый показатель разработки;

Φ_{pi} – стоимость i -го варианта исполнения;

Φ_{max} – максимальная стоимость исполнения

научно-исследовательского проекта.

$$I_{\text{финр}}^{\text{исп.1}} = \frac{93831}{93831} = 1$$

$$I_{\text{финр}}^{\text{исп.2}} = \frac{92715}{93831} = 0,99$$

Интегральный показатель ресурсоэффективности вариантов исполнения объекта исследования можно определить следующим образом:

$$I_{pi} = \sum a_i \cdot b_i \quad (13)$$

Где I_{pi} – интегральный показатель ресурсоэффективности для i -го варианта исполнения разработки;

a_i – весовой коэффициент i -го варианта исполнения разработки;

b_i –бальная оценка i -го варианта исполнения разработки, устанавливается экспертным путем по выбранной шкале оценивания;

n – число параметров сравнения.

Расчет интегрального показателя ресурсоэффективности рекомендуется проводить в форме таблицы (табл. 26).

Таблица 26 - Сравнительная оценка вариантов исполнения

Критерии \ Объект исследования	Весовой коэффициент параметра	Исп.1	Исп.2
1. Виброустойчивость	0,3	3	5
2. Долговечность в использовании	0,3	5	5

3. Производительность	0,1	5	5
4. Транспортировка	0,15	4	5
5. Надежность	0,15	5	5
ИТОГО	1	4,25	4,85

$$I_{p-исп1} = 3 \cdot 0,3 + 5 \cdot 0,3 + 5 \cdot 0,1 + 4 \cdot 0,15 + 5 \cdot 0,15 = 4,25$$

$$I_{p-исп2} = 5 \cdot 0,3 + 5 \cdot 0,3 + 5 \cdot 0,1 + 5 \cdot 0,15 + 5 \cdot 0,15 = 4,85$$

Интегральный показатель эффективности вариантов исполнения разработки ($I_{исп.i}$) определяется на основании интегрального показателя ресурсоэффективности и интегрального финансового показателя по формуле:

$$I_{исп.i} = \frac{I_{p-испi}}{I_{финрi}} \quad (14)$$

$$I_{исп.1} = \frac{4,25}{1} = 4,25$$

$$I_{исп.2} = \frac{4,85}{0,99} = 4,90$$

Сравнение интегрального показателя эффективности, вариантов исполнения разработки позволит определить сравнительную эффективность проекта (см. табл. 27) и выбрать наиболее целесообразный вариант из предложенных. Сравнительная эффективность проекта ($Эср$):

$$\mathcal{E}_{\text{ср}} = \frac{I_{\text{исп.1}}}{I_{\text{исп.2}}} \quad (14)$$

Таблица 27 - Сравнительная эффективность разработки

№ п/п	Показатели	Исп.1	Исп.2
1	Интегральный финансовый показатель разработки	1	0,99
2	Интегральный показатель ресурсоэффективности разработки	4,25	4,85
3	Интегральный показатель эффективности	4,25	4,90
4	Сравнительная эффективность вариантов исполнения	Исп1/Исп2=0,87	Исп2/Исп1=1,15

Из таблицы 27 видно, что интегральный показатель ресурсоэффективности разработки и эффективности исполнения 2 значительно выше исп.1. Поэтому наиболее эффективный вариант решения поставленной в магистерской работе технической задачи является исполнение 2.

Выводы

В процессе выполнения раздела «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение» был определен целевой рынок, для разработанного устройства. Проведен анализ конкурентов, из которого следует, что проектируемое устройство конкурентоспособное. Рассчитаны материальные затраты на изготовление данного устройства, затраты на основную и дополнительную зарплату, отчисления во внебюджетные фонды, контрагентные расходы, накладные расходы, на основании которых составлен бюджет затрат на НИИ. Произведена сравнительная характеристика эффективности разработки на основании интегрального показателя эффективности. По результатам таблицы 22 можно сделать вывод о наибольшей эффективности второго исполнения устройства.

ЗАДАНИЕ ДЛЯ РАЗДЕЛА «СОЦИАЛЬНАЯ ОТВЕТСТВЕННОСТЬ»

Студент:

Группа	ФИО
4AM82	Ши Цзянань

Школа	ИШНПТ	Отделение (НОЦ)	Материаловедения
Уровень образования	магистратура	Направление/специальность	Машиностроение

Исходные данные к разделу «Социальная ответственность»:	
1. Характеристика объекта исследования (вещество, материал, прибор, алгоритм, методика, рабочая зона) и области его применения	Объектом исследования является участок цеха по производству образцов для выглаживания, в частности оборудование, находящееся в нём
Перечень вопросов, подлежащих исследованию, проектированию и разработке:	
1. Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности:	Трудовой кодекс Российской Федерации от 30.12.2001 N 197-ФЗ (ред. от 27.12.2018)
2. Производственная безопасность	1)Повышенная или пониженная относительно нормативных требований температура, влажности и подвижности воздуха; 2)Повышенный уровень шума; 3)Повышенный уровень вибраций 4)Недостаточная освещенность рабочей зоны; 5)Эмоциональные нагрузки; 6)Отлетающие кусочки металла, абразивного материала; 7)Электрический ток; 8)Движущиеся машины и механизмы, передвигающиеся изделия, заготовки и материалы;
3. Экологическая безопасность	1)Влияние деятельности на литосферу, атмосферу и гидросферу: Токсичные выбросы, неразлагающийся мусор. 2)Способы утилизации отходов
4.Безопасность в чрезвычайных ситуациях:	Возможные ЧС на производстве: 1)Природная характера - воздействие низких температур 2)Техногенное возникновение пожара
Дата выдачи задания для раздела по линейному графику	
16.03.20	

Задание выдал консультант:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Профессор. ООД ШБИП	Сечин Александр Иванович	Доктор технических наук		16.03.20

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
4AM82	Ши Цзянань		16.03.20

Введение по разделу социальная ответственность

В данном разделе рассмотрены вопросы организации рабочего места оператора станка, в процессе изготовления станка и производства заготовок для выглаживания, в соответствии с нормами производственной безопасности и охраны окружающей среды.

Алмазное выглаживание Это относится к процессу приложения внешней силы к поверхности металлических материалов с помощью алмазной головки для пластической деформации тонкого слоя и измельчения зерен, тем самым улучшая усталостную прочность поверхности и стойкость к коррозии под напряжением детали.

В ходе проведения эксперимента неизбежно будут возникать факторы, вредные для человеческого организма, такие как вибрация токарного станка, шум во время обработки и опасность химических веществ (СОЖ) и т.д.

Вопросы производственной и экологической безопасности рассматриваются с позиции исполнителя (оператор станка), связанного непосредственно с изготовлением заготовки для изучения.

1. Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности труда

Для рабочих должны проводиться мероприятия по вопросам обеспечения безопасного труда. В систему таких мероприятий должны входить:

- постоянное совершенствование технологических процессов и оборудования с целью устранить и предотвратить возможность появления производственных вредностей;
- переход от ручной работы к механизированной;
- безусловное соблюдение технологических режимов, строгий контроль за их исполнением;
- знание и соблюдение техники безопасности;
- безусловное соблюдение режимов труда и отдыха, правильная организация рабочего места;
- постоянный контроль за состоянием воздушной среды производственных помещений (соблюдение норм предельно допустимого количества абразива в воздухе и паров химических веществ);
- регулярные медицинские осмотры;
- соблюдение требований безопасности труда к освещенности помещения, отоплению, вентиляции (система вытяжной вентиляции), кондиционированию воздуха;
- соблюдение норм допустимой концентрации вредных веществ в воздухе;
- доступ к системе водоснабжения, сан.узлу;
- регламентированные перерывы в работе на обед и на отдых;
- оборудованное помещение для отдыха работников, оснащенное необходимой мебелью (стулья, кресла, столы, холодильник, микроволновая печь, электрический чайник);
- доступ к питьевой воде.

Перечень НТД, используемой в данном разделе:

1. ГОСТ 12.2.049-80 ССБТ (Система стандартов безопасности труда). Оборудование производственное
2. ГОСТ 12.1.003-2014 ССБТ. Шум. Общие требования

безопасности.

3. ГОСТ 12.1.005-88 ССБТ. Общие санитарно-гигиенические требования к воздуху рабочей зоны.
4. ГОСТ 12.1.007-76 ССБТ. Вредные вещества. Классификация и общие требования безопасности.
5. 12.1.012-90 ССБТ. Вибрационная болезнь. Общие требования.
6. ГОСТ 12.1.029-80 ССБТ. Средства и методы защиты от шума.
7. ГОСТ 12.1.030-81 ССБТ. Электробезопасность. Защитное заземление, зануление.
8. Федеральный закон от 21 декабря 1994 г. № 68-ФЗ. О защите населения и территорий от чрезвычайных ситуаций природного и техногенного характера (с изменениями и дополнениями).

2. Производственная безопасность

2.1 условий труда на рабочем месте.

Рабочее место располагается на 1 этаже в цеху, помещение представляет собой комнату размером 10м на 8м, высотой 3,5м, 2 окна выходящих на север, в помещении находится 2 шлифовального станка, 1 пильный станок, 2 токарного станка и 2 сверлильного станка. 7 рабочие здесь работают.

В процессе резания металла, он нагревается до высоких температур (200-600°C), большая часть тепла (50-80%) отводится стружкой, однако, при постоянном воздействии резца на заготовку, она разогревается до температур, которые при кратковременном воздействии могут причинить вред человеку (ожог). Во избежание получения термических травм, рекомендуется использовать специальные приспособления для транспортировки только что обработанных деталей, а так же применять смазочно-охлаждающие жидкости (СОЖ). Основы безопасности и требования при работе с движущимися частями машин приводятся в ГОСТ 7599-82.

Работники должны обращать внимание на процесс установки деталей на машину, чтобы они не вылетели из машины и не нанесли травмы. И рабочие должны носить защитные очки при обработке деталей.

Утечка СОЖ может вызвать загрязнение окружающей среды, и СОЖ должна быть восстановлена в реальной работе. Рабочие должны очистить участок после завершения работ.

2.2. Анализ показателей шума и вибрации

2.2.1. Анализ показателей шума

В рабочем помещении должны соблюдаться нормы уровня шума согласно СН2.2.4/2.1.8.562-96.

Источником шума в рассматриваемом рабочем пространстве является двигатель станка, а также пневматический пружинный зажим алмазной режущей головки в работе.

Предельно допустимые уровни звука и эквивалентные уровни звука на рабочих местах для трудовой деятельности разных категорий тяжести и напряженности в ГОСТ 12.1.003–83.

Таблица 28

Категория напряженности	Категория тяжести трудового процесса				
	легкая физическая нагрузка	средняя физическая нагрузка	тяжелый труд1 степени	тяжелый труд 2 степени	тяжелый труд 3 степени
трудового процесса					
легкой степени	80	80	75	75	75

Если уровень шума на работе превышает 70-80 дБ необходимо использовать индивидуальные средства защиты (беруши, специальные наушники). Методы и средства коллективной защиты в зависимости от способа реализации подразделяются на: акустические (звукоизолирующие кожухи, кабины, акустические экраны, выгородки, звукопоглощающие облицовки, объемные поглотители звука и др.). Физическая сущность звукоизолирующих преград состоит в том, что наибольшая часть звуковой энергии отражается от специально выполненных массивных ограждений из плотных твердых материалов (металла, дерева, пластмасс, бетона и др.) и только незначительная часть проникает через ограждение. Уменьшение шума в звукопоглощающих преградах обусловлено переходом колебательной энергии в тепловую благодаря внутреннему трению в звукопоглощающих материалах. Хорошие звукопоглощающие свойства имеют легкие и пористые материалы (минеральный войлок, стекловата, поролон и т.п.).

Для уменьшения воздействия неблагоприятных шумовых эффектов, рабочим следует использовать беруши, наушники.

Т а к же в обеденный перерыв обязательно нужно покидать рабочее место и отправляться в более тихое место, чтобы слух немного отдохнул и адаптировался к нормальному уровню громкости. Не реже 1 раза в год (или в полгода, если уровень шума очень высокий) провер я т ь слух у врача- оториноларинголога, следует уловить момент ухудшения и принять меры.

2.2.2. Анализ показателей вибрации

В процессе обработки деталей, если режущий инструмент выставлен неправильно, а также если станок не имеет крепкого фундамента под собой, или не установлен на виброопорах, могут возникать вибрации.

Основная цель нормирования вибрации на рабочих местах — это установление допустимых значений характеристик вибрации, которые при ежедневном систематическом воздействии в течение всего рабочего дня и многих лет не могут вызвать существенных заболеваний организма человека и не мешают его нормальной трудовой деятельности.

Основным документом, регламентирующим уровень вибрации на рабочих местах, является СН 2.2.4/2.1.8.566-96 «Производственная вибрация, вибрация в помещениях жилых и общественных зданий». В этом документе приведены предельно допустимые значения колебательной скорости, колебательного ускорения и их уровней в октавных и треть октавных полосах частот для локальной и общей вибрации в зависимости от источника возникновения, направления действия.

Коллективные виды средств защиты от вибрации считаются предпочтительными, в то время как средства индивидуальной защиты применяются в качестве вспомогательных. К ним относятся: виброзащитные обувь, перчатки со специальными упруго-демпфирующими элементами, поглощающими вибрацию.

2.3. Анализ показателей микроклимата

В ходе работы необходимо соблюдать допустимые значения на следующие производственные метеоусловия – влажность воздуха на рабочем месте, температура воздуха, скорость движения воздуха, а так же тепловые излучения. Указанные физические свойства воздуха на рабочем месте оказывают значительное влияние на протекание жизненных процессов в организме человека. Так, при неблагоприятном микроклимате (превышение или же занижение

допустимых нормативных показателей, указанных в СанПиН 2.2.4.548 – 96) снижается производительность труда и ухудшается здоровье работника.

Неблагоприятные условия вызывают перенапряжение механизма терморегуляции, что приводит к перегреву или переохлаждению. Нарушениями механизма терморегуляции являются:

Повышенная утомляемость;

Снижение его производительности труда;

Повышенный риск простудных и сердечных заболеваний.

Для профилактики неблагоприятного воздействия микроклимата должны быть использованы защитные мероприятия. Например, такие как системы местного кондиционирования воздуха, применение средств индивидуальной защиты (СИЗ), регламент времени работы и т.д.

К числу СИЗ от неблагоприятных климатических условий относят спецодежду, спецобувь, средства защиты рук, головные уборы.

2.4. Анализ освещенности рабочей зоны

Искусственное освещение должно обеспечивать в помещении освещенность, позволяющую выполнять операции, наладку оборудования без производственных дефектов и травматизма, возникающих по причине недостаточной освещенности. Недостаточная освещенность является вредным фактором при выполнении исследовательских работ, требующих особую точность. При работе в таких условиях сначала происходит перенапряжение глаз, которое впоследствии может вызвать ухудшение зрения. В этом случае требуется привлечение дополнительных источников света, в частности настольных ламп.

В цеху, помимо искусственных источников света, установлены большие окна по всему периметру помещения.

Нормы освещенности рабочих поверхностей в производственных помещениях устанавливают в зависимости от характеристики зрительной работы.

Таблица 29. Величина к.е.о. в разных ситуациях.

Разряды работы	Характер работ, выполняемых в помещении		Нормы к.е.о. в %	
	виды работ, по степени точности	Размер объекта мм	при верхнем и комбинированном освещении	при боковом освещении
1	2	3	4	5
I	Особо точные работы	0,1 и менее	10	3,5
II	Работы высокой точности	Более 0,1 до 0,3	7	2
III	Точные работы	Более 0,3 до 1	5	1,5
IV	Работы малой точности	Более 1 до 10	3	1
V	Грубые работы	Более 10	2	0,5
VI	Работы, требующие общего наблюдения за ходом производственного процесса	-	1	0,25

Для вечернего освещения, помимо потолочных ламп, рабочее место должно быть оборудовано дополнительным источником света. В вечернее время в цехах обязательно общее искусственное рабочее освещение, причем расположение светильников должно быть равномерным. Недостаточная освещенность рабочего места не только уменьшает остроту зрения, но и вызывает утомление организма в целом, что приводит к снижению производительности труда и увеличению опасности заболеваний человека. Поэтому с целью обеспечения требуемых норм освещенности необходимо произвести расчет искусственной освещенности. Для расчета общего равномерного освещения при горизонтальной рабочей поверхности основным является метод светового потока (коэффициента использования), учитывающий световой поток, отраженный от потолка и стен. При работе с персональным

компьютером в сочетании с работой с нормативной и технической документацией, согласно нормам, СНиП 23-05-95 в лаборатории, где происходит периодическое наблюдение за ходом производственного процесса при постоянном нахождении людей в помещении освещенность при системе общего освещения не должна быть ниже 150 Лк.

Расчёт общего равномерного искусственного освещения горизонтальной рабочей поверхности выполняется методом коэффициента светового потока, учитывающим световой поток, отражённый от потолка и стен. Длина помещения $A = 10$ м, ширина $B = 8$ м, высота = 3,5 м. Высота рабочей поверхности над полом $h_p = 1,0$ м. Согласно СНиП 23-05-95 необходимо создать освещенность не ниже 300 лк, в соответствии с разрядом зрительной работы.

Площадь помещения: $S = A \times B$, где A – длина, м; B – ширина, м.

$$S = 10 \times 8 = 80 \text{ м}^2$$

Коэффициент отражения покрашенных светло-зеленых стен с окнами, без штор $\rho_C = 40\%$, свежепобеленного потолка $\rho_P = 70\%$. Коэффициент запаса, учитывающий загрязнение светильника, для помещений с малым выделением пыли равен $K_3 = 1,2$. Коэффициент неравномерности для люминесцентных ламп $Z = 1,1$.

Выбираем лампу дневного света ЛТБ-40, световой поток которой равен ФЛД = 3000 Лм. Выбираем светильники с люминесцентными лампами типа ОДОР –2-40. Этот светильник имеет две лампы мощностью 40 Вт каждая, длина светильника равна 1200 мм, ширина – 260 мм.

Интегральным критерием оптимальности расположения светильников является величина λ , которая для люминесцентных светильников с защитной решёткой лежит в диапазоне 1,1–1,3. Принимаем $\lambda = 1,2$, расстояние светильников от перекрытия (свес) $h_c = 0,5$ м.

Высота светильника над рабочей поверхностью определяется по формуле: $h = H - h_p - h_c$, где H – высота светильника над полом, высота подвеса, h_p – высота рабочей поверхности над полом.

Наименьшая допустимая высота подвеса над полом для двухламповых светильников ОДОР: $H = 3,5$ м.

Высота светильника над рабочей поверхностью определяется по формуле:

$$h = H - h_p - h_c = 3,5 - 1 - 0,5 = 2 \text{ м}$$

Расстояние между соседними светильниками или рядами определяется по формуле:

$$L = \lambda \cdot h = 1,2 \cdot 2 = 2,4 \text{ м}$$

Число рядов светильников в помещении:

$$Na = \frac{B}{L} = \frac{8}{2,4} = 3,3 \approx 3$$

Число светильников в ряду:

$$Na = \frac{A}{L} = \frac{10}{2,4} = 4,16 \approx 4$$

Общее число светильников:

$$N = Na * Na = 4 * 3 = 12$$

Индекс помещения определяется по формуле:

$$i = \frac{A * B}{h * (A + B)} = \frac{10 * 8}{2 * (10 + 8)} = 2,22$$

Коэффициент использования светового потока, показывающий какая часть светового потока ламп попадает на рабочую поверхность, для светильников типа ОД с люминесцентными лампами при $\rho_{\Pi} = 70\%$, $\rho_{\Sigma} = 40\%$ и индексе помещения $i = 2,22$ равен $\eta = 0,52$. Потребный световой поток группы люминесцентных ламп светильника определяется по формуле:

$$\Phi_p = \frac{E * A * B * K_3 * Z}{N * \eta} = \frac{150 * 10 * 8 * 1,2 * 1,1}{12 * 0,52} = 2538 \text{ лм}$$

Делаем проверку выполнения условия:

$$-10\% \leq \frac{\Phi_{\text{лд}} - \Phi_{\text{п}}}{\Phi_{\text{лд}}} 100\% \leq 20\%;$$

$$\frac{2600 - 2538}{2600} * 100 = 2,38 \approx 2\%$$

$-10\% \leq 2\% \leq 20\%$ Таким образом: условие выполнено

2.5. Анализ электробезопасности

Электробезопасность представляет собой систему организационных и технических мероприятий и средств, обеспечивающих защиту людей от вредного и опасного воздействия электрического тока, электрической дуги, электромагнитного поля и статистического электричества.

Производственные цеха относятся к классу электроопасности - помещению с повышенной опасностью, которая характеризуется наличием в них одного из следующих условий, создающих повышенную опасность: сырость, токопроводящая пыль, токопроводящие полы (металлические, земляные, железобетонные, кирпичные и т.п.), высокая температура, возможность

одновременного прикосновения человека к имеющим соединение с землей металлоконструкциям, технологическим аппаратам, с одной стороны, и к металлическим корпусам электрооборудования – с другой.

Средствами индивидуальной защиты от поражения электрическим током являются инструменты с ручками из изолирующего материала, специальные перчатки и обувь, а также дорожки и коврики.

3. Экологическая безопасность

Охрана окружающей среды – это комплексная проблема и наиболее активная форма её решения – это сокращение вредных выбросов промышленных предприятий через как можно более полный переход к безотходным или малоотходным технологиям производства. Охрану природы можно представить как комплекс государственных, международных и общественных мероприятий, направленных на рациональное использование ресурсов природы, а также их восстановление и улучшение природных условий. С развитием промышленности вред, который может быть нанесён окружающей среде, увеличивается, поэтому задача по охране окружающей среды должна быть приоритетна для всех, без исключения, компаний.

При написании данной выпускной квалификационной работы не было использовано токсичных и радиоактивных материалов, а также материалов, подлежащих особым условиям утилизации. Однако, с целью рационализации использования природных ресурсов (металл, СОЖ), рекомендуется:

Пакетировать стружку по маркам, сдавая её в последующем на переработку;

-Очищать СОЖ для повторного использования, с вторичным использованием отфильтрованной взвеси абразивной пыли и мелкой стружки (неответственные конструкции).

При проведении в цеху экспериментов для квалификационной работы вредных выбросов в атмосферу, почву и водные источники не производилось, чрезвычайные ситуации не наблюдались, существенных воздействий на окружающую среду не было.

4. Безопасность в чрезвычайных ситуациях

Исследование проводилось в городе Томск с континентально-циклоническим климатом. Природные явления

(землетрясения, наводнения, засухи, ураганы и т. д.), в данном городе отсутствуют. Возможными ЧС на объекте в данном случае, могут быть сильные морозы и диверсия.

В зимнее время года характерны морозы. Достижение критически низких температур приведет к авариям систем теплоснабжения и жизнеобеспечения, приостановке работы, обморожениям и даже жертвам среди населения. В случае переморозки труб должны быть предусмотрены запасные газовые обогреватели с катализаторами. Их количества и мощности должно хватать для того, чтобы работа на производстве не прекратилась. В случае обрыва линий электропередач должны быть предусмотрены электрогенераторы, которые и будем использовать для электрообогревателей и другого вида оборудования. Нужно иметь запасы воды для сотрудников и для технических нужд. Заключить договоры с транспортными компаниями, что переложит ответственность в случае ЧС на них.

Чрезвычайные ситуации, возникающие в результате диверсий, возникают все чаще. Зачастую такие угрозы оказываются ложными. Но случаются взрывы и в действительности. Для предупреждения вероятности осуществления диверсии предприятие необходимо оборудовать системой видеонаблюдения, круглосуточной охраной, пропускной системой, надежной системой связи, а также исключения распространения информации о системе охраны объекта, расположении помещений и оборудования в помещениях, системах охраны, сигнализаторах, их местах установки и количестве. Должностные лица раз в полгода проводят тренировки по отработке действий на случай экстренной эвакуации.

2.6. Анализ пожарной безопасности

Пожарная безопасность предусматривает обеспечение безопасности людей и сохранения материальных ценностей предприятия на всех стадиях его жизненного цикла. Основными системами пожарной безопасности являются системы предотвращения пожара и противопожарной защиты, включая организационно-технические мероприятия. Помещение относится к категории ВЗ – пожароопасное.

Среди организационных и технических мероприятий, осуществляемых для устранения возможности пожара, выделяют следующие меры:

- использование только исправного оборудования;

- проведение периодических инструктажей по пожарной безопасности;
- назначение ответственного за пожарную безопасность помещения;
- отключение электрооборудования, освещения и электропитания по окончании работ;
- курение в строго отведенном месте;
- содержание путей и проходов для эвакуации людей в свободном состоянии.

Для тушения токоведущих частей и электроустановок применяется переносной порошковый огнетушитель, например ОП-5. В общественных зданиях и сооружениях на каждом этаже должно размещаться не менее двух переносных огнетушителей. Огнетушители следует располагать на видных местах вблизи от выходов из помещений на высоте не более 1,35 м. Размещение первичных средств пожаротушения в коридорах, переходах не должно препятствовать безопасной эвакуации людей.

Здание должно соответствовать требованиям пожарной безопасности, а именно, наличие охранно-пожарной сигнализации, плана эвакуации, порошковых или углекислотных огнетушителей с поверенным клеймом, табличек с указанием направления к запасному (эвакуационному) выходу (рисунок 36).

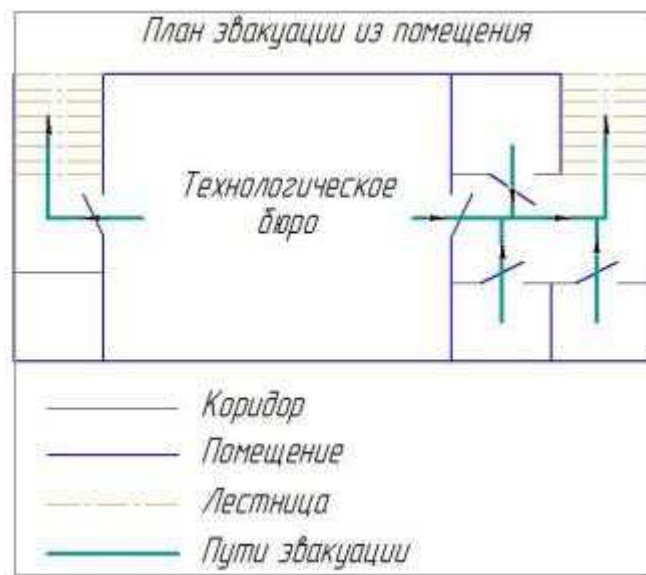


Рис 36. План эвакуации.

Заключение по разделу социальная ответственность

В данном разделе «Социальная ответственность» были

рассмотрены различные виды вредного воздействия на человека и окружающую среду, а так же способы уменьшения их воздействия.

К таким вредным воздействиям на организм человека относятся: вибрации, шум, недостаток освещённости, электробезопасности. В разделе приведены способы уменьшения воздействия на организм человека вредных факторов, а так же средства индивидуальной защиты для уменьшения воздействия этих факторов.

Список литературы

1. ГОСТ 12.4.154-85 “ССБТ. Устройства, экранирующие для защиты от электрических полей промышленной частоты искусственному и совмещенному освещению жилых и общественных зданий.
2. СН 2.2.4/2.1.8.562-96. Шум на рабочих местах, в помещениях жилых, общественных зданий и на территории жилой застройки.
3. ГОСТ 12.4.123-83. Средства коллективной защиты от инфракрасных излучений. Общие технические требования.
4. ГОСТ Р 12.1.019-2009. Электробезопасность. Общие требования и номенклатура видов защиты.
5. ГОСТ 12.1.030-81. Электробезопасность. Защитное заземление. Зануление.
6. ГОСТ 12.1.004-91. Пожарная безопасность. Общие требования.
7. ГОСТ 12.2.037-78. Техника пожарная. Требования безопасности
8. ГОСТ 12.4.154. Система стандартов безопасности труда. Устройства, экранирующие для защиты от электрических полей промышленной частоты.
9. СНиП 23-05-95 "Естественное и искусственное освещение"

Development of the design of the bench (general layout and drive of the main movement) and investigation of the process of plastic deformation during diamond burnishing

Студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
4AM82	Ши Цзянань		25.05.20

Консультант отделения материаловедения ИШНПТ:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент	Червач Юрий Борисович			25.05.20

Консультант – лингвист ОИЯ ШБИП:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Старший преподаватель	Кобзева Надежда Александровна			25.05.20

Introduction

Diamond burnishing is one of the simplest and most effective hardening methods. Surface plastic deformation increases fatigue strength, contact endurance and wear resistance of parts and thereby increases the

The amplitude-frequency characteristics of the burnishing process have not been investigated yet. This work presents the principle of diamond burnishing and vibration of lathe in processing. The first part is to introduce the information about surface plastic deformation. The second part is to introduce the diamond burnishing technology. The third part is to introduce vibration during processing with lathe. The last part is to use the finite element theory to simulate the diamond burnishing experiment, and analyze the vibration of the lathe spindle designed by ourselves.

Keywords: Diamond burnishing, Surface plastic deformation, Vibration during processing.

Information about surface plastic deformation

In the manufacture and operation of machine parts, bumps and microroughness are formed on their surfaces, and a metal layer immediately adjacent to the surface changes the structure, phase and chemical composition, and residual stresses arise in it.

A metal layer having a structure, phase or chemical composition that is different from the bulk of the part is called surface.

Under operating conditions, the surface layer of a part is subjected to the strongest physic-chemical effect: mechanical, thermal, magnetoelectric, light, chemical, etc. In most cases, the surface begins to deteriorate in a part, for example, wear, erosion, cavitation, corrosion, fatigue cracks and other destruction develops first on the surface.

Therefore, higher demands are made on the surface layer than on the bulk of the part. And surface plastic deformation processing is one of the simplest and most effective ways to increase the operational performance of a part and its surface layer in particular.

Surface plastic deformation is based on the ability of a metal surface to perceive residual plastic deformation without violating the integrity of the metal. Surface plastic deformation is one of the simplest and most effective technological ways to increase the efficiency and reliability of machine parts. As a result of surface plastic deformation, the hardness and strength of the surface layer increase, favorable residual compressive stresses are formed, the roughness parameter R_a decreases, the radius of curvature of the tips of microprotrusion increases, the relative reference length of the profile of microroughness, etc. Surface plastic deformation of parts is used in all types of production.

Surface plastic deformation provides a change in the structure of the metal, but without its complete recrystallization. An important characteristic of the state of the surface layer is the residual stresses.

Residual stress refers to the internal stress that remains in the part after eliminating external forces or uneven temperature fields. Residual compressive stresses arising in the surface layer increase the cyclic strength of the parts, since they unload the surface layers from stresses caused by loads.

Diamond burnishing technology

Conventional methods, such as grinding, are widely used in finishing applications that require excellent surface quality and dimensional accuracy, but the quality of the machined surfaces of parts becomes an increasingly important factor in engineering solutions, and it is more difficult to obtain high-quality properties using traditional

processes. Microstructural damage or poor surface quality can often lead to a critical failure of one part of the component, and in the worst case, the entire component can be damaged due to one part. Burnishing is one of the new finishing technologies that serves as an alternative to traditional grinding processes.

Diamond burnishing which is the process of applying external force to the surface of metallic materials using a diamond head for plastic deformation of a thin layer and grinding of grains, thereby improving the surface fatigue resistance and corrosion resistance of the part. The kinematics of the diamond burnishing process are similar to the more common rolling processes using rollers, although the contact during diamond burnishing slides rather than rolls. Diamond burnishing tools are commonly used in linear applications, i.e. on cylindrical workpieces. The surface layer of the treated element undergoes cold plastic deformation, and this gives the corresponding properties: the surface roughness decreases, compressive stresses are created in the surface layer, which become harder. This state of the surface layer improves many beneficial properties, in particular fatigue strength. For example, Benedetti et al. (2002) found a clear dependence of fatigue strength on the state of stress in the surface layer.

First introduced by General Electric in 1962, diamond burnishing remains one of the easiest and most efficient machining methods. It is widely used in the aviation industry, shipbuilding, automotive and other places.

To make processing possible without excessive heat, such a tool should be made of a material with a low coefficient of friction on metals. Diamond is such a material. It also shows a very high hardness, which allows you to process even the hardest metals and their alloys. The method of burnishing surfaces with diamond tips can be used in the

processing of billets of metals of various hardness, including hardened steels, and cannot be used for processing titanium alloys, zirconium and niobium, which is associated with the specific properties of these metals and their possible interaction with diamond. Diamond tools are very economical for producing mirror surfaces on machined surfaces. They are especially suitable for burnishing shafts and flat surfaces. This method can be used to process internal and external cylindrical surfaces. Using diamond burnishing, surface roughness ($R_a = 0.03\text{--}0.2\text{ }\mu\text{m}$) and surface strength can be improved. Thus, surface burnishing not only replaces traditional surface treatment technologies (for example, grinding and polishing), but in many cases it has proven to be more effective.

During diamond burnishing, the deforming tool is a diamond crystal located in a special mandrel. Diamond is most often fixed by brazing using silver solder, which has a relatively low melting point ($600\text{--}650\text{ }^{\circ}\text{C}$). The universal smoother (Fig. 37) consists of a mandrel 1 and diamond 2. The smoother is mounted in a special device installed in the tool holder of the lathe. The pressure when burnishing with elastic contact is usually created using a calibrated spring. When the workpiece is rotated, the tool has a longitudinal feed. Burnishing is performed under sliding friction. Due to the high hardness of diamond, burnishing is successfully used for finishing and hardening processing of parts from various materials and, in particular, from hardened steels in different structural states.

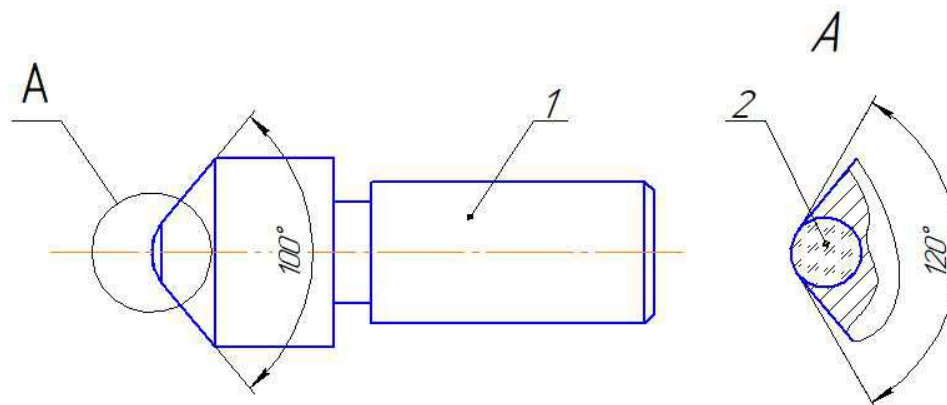


Fig. 37. Diamond smoother

When burnishing, the diamond practically does not deform. For economic and technical reasons, diamond tools for burnishing are made in small sizes. In practice, smoothers with a radius of the diamond sphere of 0.5-3.5 mm are used, the contact surface of the tool with the part is insignificant. This leads to the creation of high contact pressures necessary for plastic deformation at small normal forces.

Vibration problems during lathe machining

Vibration during processing usually causes a relative displacement between the tool and the workpiece, which seriously disrupts the normal path of movement between the workpiece and the tool. Vibration not only degrades the surface quality of the machine, but also shortens the life of the tool and machine. In severe cases, processing cannot be performed. Often, to avoid vibration, the cutting mode must be reduced, thereby reducing productivity. At the same time, due to the strong noise created by vibration, the worker not only gets tired easily, the body and mind get damaged, work efficiency decreases, and the environment is polluted.

Depending on the nature of the vibration of the process system, vibration is classified:

1. Free vibration - vibration of the system, due to the initial supply of mechanical energy and occurring without the influence of a driving force or external energy.
2. Forced vibration - vibration of a technological system under the influence of an external excitation force.
3. Self-excited vibration — the process system has feedback characteristics between input and output, and when energy is added, vibration occurs.

The vibration source for forced vibration during processing has two

types: an internal vibration source from the inside of the machine and an external vibration source from the outside of the machine. An external vibration source is mainly transmitted to the machine through the foundation and can be isolated by adding a vibration isolation foundation. The main sources of vibration in the car are:

1. The high-speed rotating parts of the machine are not balanced. The periodic excitation force caused by the imbalance of rotation of the rotor of the engine, pulley and workpiece causes forced vibration during the processing process.

2. Defective machine drive mechanism. Production of inaccurate or poorly mounted gears, uneven belt thickness, etc., causing forced vibration.

3. Impact during the cutting process. For example, when milling or broaching, the vibration will be generated on the cutter teeth in the process of cutting in or out the workpiece. On the discontinuous surface to be treated, forced vibrations can also occur due to periodic shocks.

4. Inertial force of the reciprocating component. In the machine tools with piston elements, the inertial impact caused by the change of the movement direction of the piston is often the main influence source in the machining process of these machines.

Self-excitation of vibration has the following characteristics compared to forced vibration:

1. Self-excitation during processing is the vibration created by an interference without periodic external force (relative to the cutting process), which in principle differs from the forced vibration.

The machine processing system is a closed system consisting of a vibration system and an adjustment system, as shown in Figure 38. The variable force that stimulates the machine system to generate vibrational movement is created by the cutting process, and the vibration of the

machine system also affects the cutting process. As soon as the vibrational movement of the machine system stops, the variable cutting force disappears. If the cutting process is smooth, even if the system has a condition for self-excited vibration, a variable cutting force does not occur due to the cutting process, and self-excited vibration is not created. However, in the real processing process, there are always random external disturbances (such as uneven hardness of the workpiece material, changes in processing tolerances, etc.), and the change in cutting force resulting from such random external disturbances acts on the machine system. This will cause the system to vibrate. This vibrational movement created by the system causes a periodic change in the relative position between the workpiece and the tool, which leads to a variable cutting force that maintains the vibrational movement during the cutting process. If the technological system does not have conditions for self-excited vibration, the forced vibration caused by random external disturbance will gradually decay due to damping of the system. If the process system has self-excited vibration conditions, this can cause continuous oscillatory movement of the machine processing system.

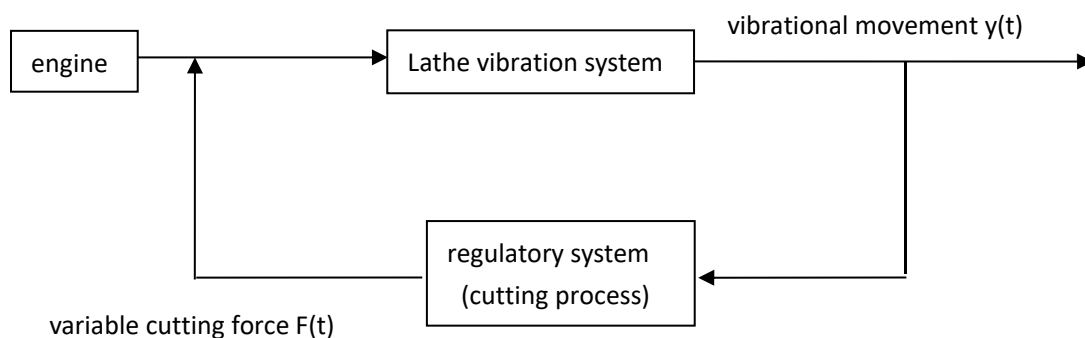


Fig. 38. Self-excited vibration closed loop system

The energy for maintaining self-excited vibration comes from the machine engine. In addition to the energy for cutting and cutting, the engine also transfers energy to the vibration system during the cutting

process, causing the machine system to generate vibratory motion.

2. The frequency of self-excitation of vibration is close to a certain natural frequency of the system, which depends on the internal characteristics of the vibration system. This is different from forced vibration, which depends on the frequency of external interference.

3. Free vibration will be attenuated by the damping effect, and self-excited vibration will not decrease to zero due to damping.

An increase or decrease in the amplitude of self-excited vibration is determined by the sign of the difference between the energy received by the vibration system and the energy consumed in each period of vibration. From fig. 39 it can be seen that during the vibration period, if the energy E_r received by the vibration system is equal to the energy E_z consumed by the system, the self-excited vibration is a steady motion of equal amplitude with amplitude OB . When the amplitude is OA , the energy E_r received from the engine in each vibration period of the vibration system is greater than the energy E_z consumed by the vibration, and the amplitude will increase until the amplitude OB increases, otherwise, when the amplitude is OC , The vibration system receives less energy from the engine during the vibration period than the energy consumed by the vibration, and the amplitude continuously decreases until it decreases to the amplitude OB .

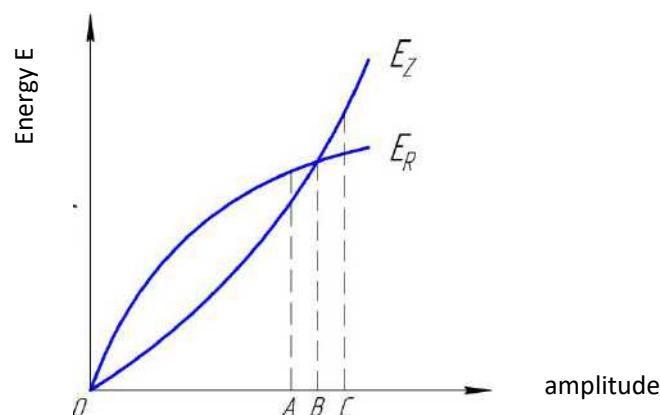


Fig. 39. Energy relations of the vibration system

If during the period of vibration the vibration system receives more energy from the engine than the vibration system uses to operate in the outside world. If the difference between these two values simply exceeds the energy consumed by the damping during vibration, the system will have a vibration of movement with equal amplitude.

Figure 40 shows a model of a vibration system with one degree of freedom. The vibration system is connected to the tool holder system and vibrates only in the y-axis direction. For simplicity of analysis, the role of system damping is not currently considered.

Analysis Figure 40 shows that in the half-cycle of the vibration system of the tool holder, vibrating into the workpiece, its vibrational displacement is opposite to the radial cutting force, and the cutting force is negative (the equivalent of vibration of the tool holder system will be compressed). The spring k is released by vibrational movement to release the stored energy, and in the half-cycle of vibration of the vibrating system of the tool holder, its vibrational displacement coincides with the radial cutting force, and the cutting force performs a positive job. (Equivalent to the vibration system of the tool holder to generate energy by compressing the spring k through vibration). Only if positive work is greater than negative work, or if only the energy received by the system is greater than the energy emitted by the system to the outside world, can the system support the self-excitation of vibration. This is $E_r > E_z$.

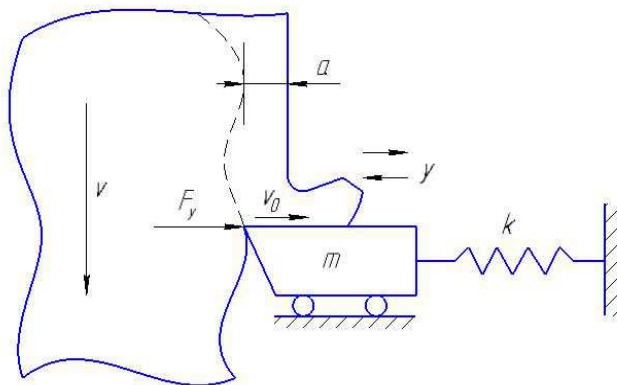


Fig. 40.

Modal spindle analysis

The purpose of modal analysis is to identify the modal parameters of the system and provide the basis for the analysis of the dynamic characteristics of the structure, diagnostics and prediction of vibration faults, as well as the optimal design of the dynamic characteristics of the structure.

The differential equation of motion of a mechanical system has the form:

$$[M]\{\ddot{x}\} + [C]\{\dot{x}\} + [K]\{x\} = \{Q\}$$

Where, $[M]$ is the total mass matrix, $[C]$ is the damping matrix, $[K]$ is the stiffness matrix, $\{x\}$ is the nodal displacement column matrix, and $\{Q\}$ is the column matrix of the applied excitation force.

Modal analysis consists in solving the eigenvalues and eigenvectors of the equation of motion without damping and without external load, that is, a simplified equation of motion has the form:

$$[M]\{\ddot{x}\} + [K]\{x\} = \{0\}$$

Let the masses of the system make harmonic movements in accordance with the same frequency and the same phase, namely:

$$\{x\} = \{A\}\sin(\omega t + \varphi)$$

Substitute the differential equation to simplify:

$$(\omega^2)^n + a_1(\omega^2)^{n-1} + a_2(\omega^2)^{n-2} + \dots + a_{n-1}(\omega^2) + a_n = 0$$

This equation is a characteristic equation of the system. The solution of this equation can find n roots as eigenvalues, and n natural frequencies can be obtained after the square root, which is called the eigenfrequencies of the first order, second order and n -th order in increasing order.

Add constraints to the spindle according to the actual working state. When the diamond head pressure is 500N, the simulation results are as

shown in Figure 41.

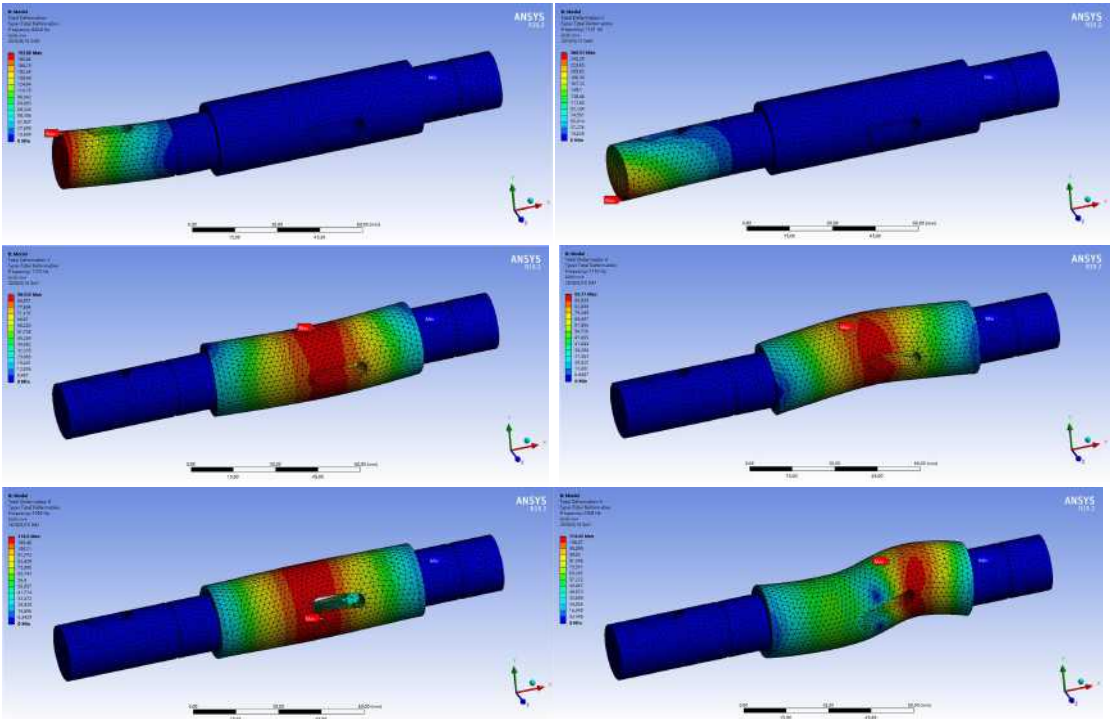


Fig. 41. Forms of vibration of the sixth order spindle

First-order vibration form: the spindle tail oscillates slightly along the y axis up and down without significant deformation of the front half of the spindle. The second-order vibration form: the spindle tail fluctuates greatly, and the front half of the spindle does not undergo large deformation; Third-order vibration form: slight deformation in the middle of the spindle. Fourth-order vibration form: large deformation occurs in the middle of the spindle; Fifth-order vibration form: radial expansion occurs in the middle of the spindle; The sixth-order vibration form: the central part of the spindle vibrates in the direction of the Y axis, and the magnitude of the vibration is large.

First 6th order modal analysis of spindle eigenfrequency during diamond burnishing: Form 30

Order number	Frequency, Hz	Form of vibration
1	665	bending
2	1131	bending

3	1173	wobble
4	1183	wobble
5	1950	torsion
6	2365	wobble

Список литературы

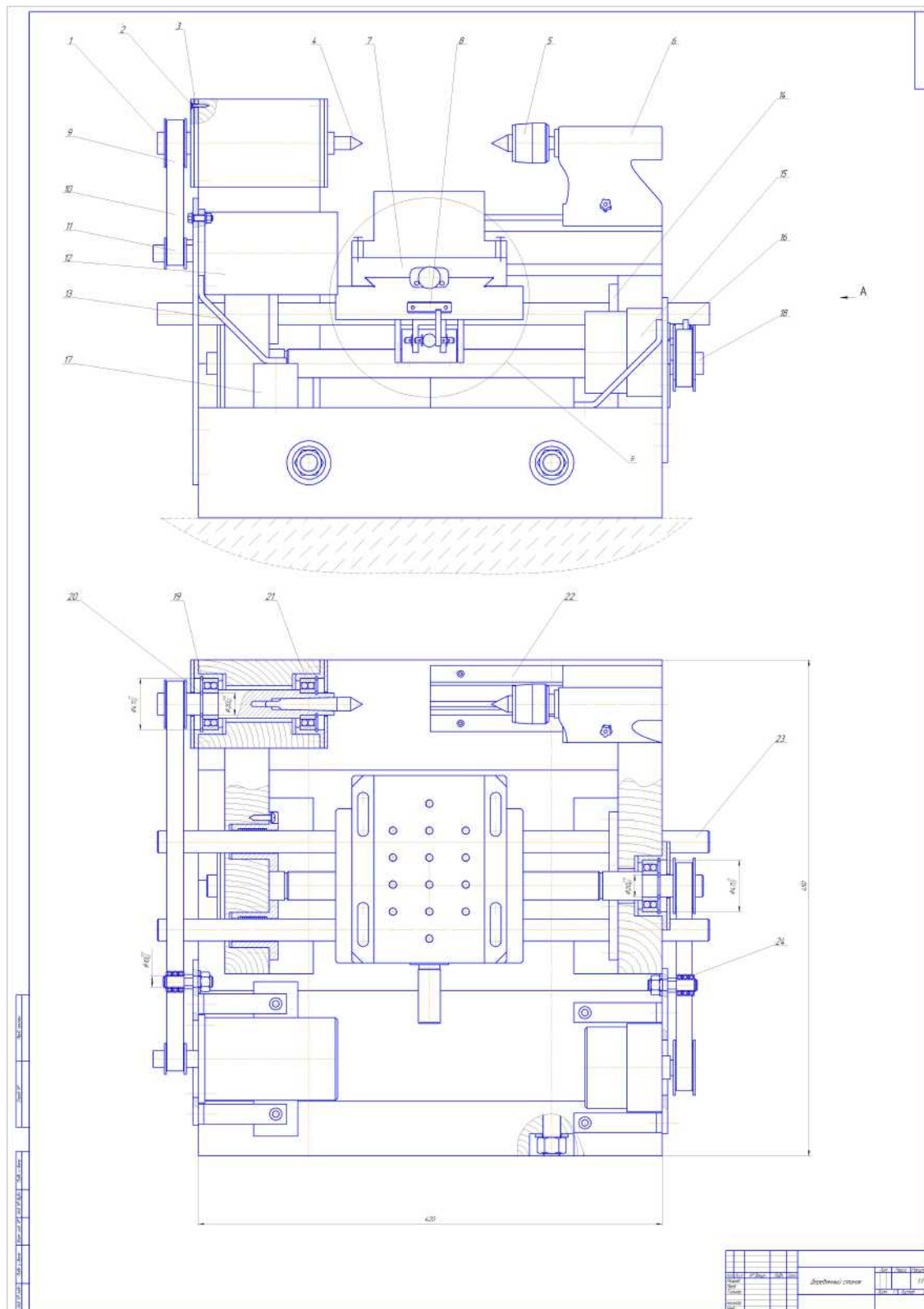
1. Папшев Д.Д. Отделочно-упрочняющая обработка поверхностным пластическим деформированием. М., «Машиностроение», 1978. 152 с. ил.
2. Повышение несущей способности деталей машин поверхностным упрочнением / Л.А.Хворостухин, С.В.Шишкин, И.П.Ковалев, Р.А.Ишмаков. – М.: Машиностроение, 1988. – 144 с.: ил.
3. Клепиков В.В. Технологические процессы алмазного выглаживания: учеб. для вузов / В.В. Клепиков, А.Н. Бодров. М.: Высшая школа, 2006. 320 с.
4. Torbilo, V.M., Almaznoe vyglazhivanie (Diamond Smoothing), Moscow: Mashinostroenie, 1972.
5. J. Kodácsy: Gépgyártás, edited by Kecskeméti Főiskola KIK Nyomda, Kecskemét Hungary (2010).
6. Huuki, J. and Laakso, S.V.A. (2017) ‘Surface improvement of shafts by the diamond burnishing and ultrasonic burnishing techniques’, Int. J. Machining and Machinability of Materials, Vol. 19, No. 3, pp.246–259.
7. Mieczyslaw Korzynski, Janusz Lubas., Surface layer characteristics due to slide diamond burnishing with a cylindrical-ended tool. Journal of Materials Processing Technology 211 (2011) 84-94.
8. M. Korzynski, A. Pacana, J. Cwanekc., Fatigue strength of chromium coated elements and possibility of its improvement with slide diamond burnishing. Surface & Coatings Technology 203 (2009) 1670-1676.
9. Информация на https://studref.com/378908/tehnika/rabota_obrabotka_zagotovok_pov_erhnostnym_plasticheskim_deformirovaniem#620

10. Попова В.В. Поверхностное пластическое деформирование и физико-химическая обработка: Учебное пособие по дисциплине «Процессы и операции формообразования» для студентов всех форм обучения направления подготовки 151900 «Конструкторско-технологическое обеспечение машиностроительных производств» / Рубцовский индустриальный институт. – Рубцовск, 2013. – 98 с.
11. Степанова, Т.Ю. Технологии поверхностного упрочнения деталей машин: учебное пособие/ Т.Ю. Степанова; Иван. гос. хим.-технол. ун-т.-Иваново, 2009.-64с. -ISBN –5-9616-0315-4.
12. Бойкин С.П. Справочник. Вибрация машин для «Чайников», 2010.
13. Диагностика технологической системы «станок–приспособление–инструмент–деталь»: учебное пособие / сост.: А.Н. Гаврилин, Б.Б. Мойзес; Томский политехнический университет. – Томск: Изд-во Томского политехнического университета, 2016. –144 с.
14. Металлорежущие станки: пособие / С.Э.Завистовский. – Минск: РИПО, 2015. – 440 с.: ил.
15. Металлорежущие станки. В 2 т. Т. 2: учебник для студ. учреждений высш. проф. образования / [А.М. Гаврилин, В.И. Сотников, А. Г. Схиртладзе, Г. А. Харламов]. — М.: Издательский центр «Академия», 2012. — 336 с. — (Сер. Бакалавриат).
16. Сопротивление материалов: учебник для вузов / И. Феодосьев. - 17-е изд., испр. - Москва: Издательство МГТУ им. Н. Баумана, 2018. - 542, [2] с. : ил.
17. Mechanical manufacturing technology /Lu Bingheng. –Third edition. –Beijing: Machinery Industry Press, 2007.12.
18. Mechanical manufacturing equipment design /Guan Huizhen. –Fourth

edition. –Beijing: Machinery Industry Press,2014.12.

Приложение 1

Сборочные чертежи

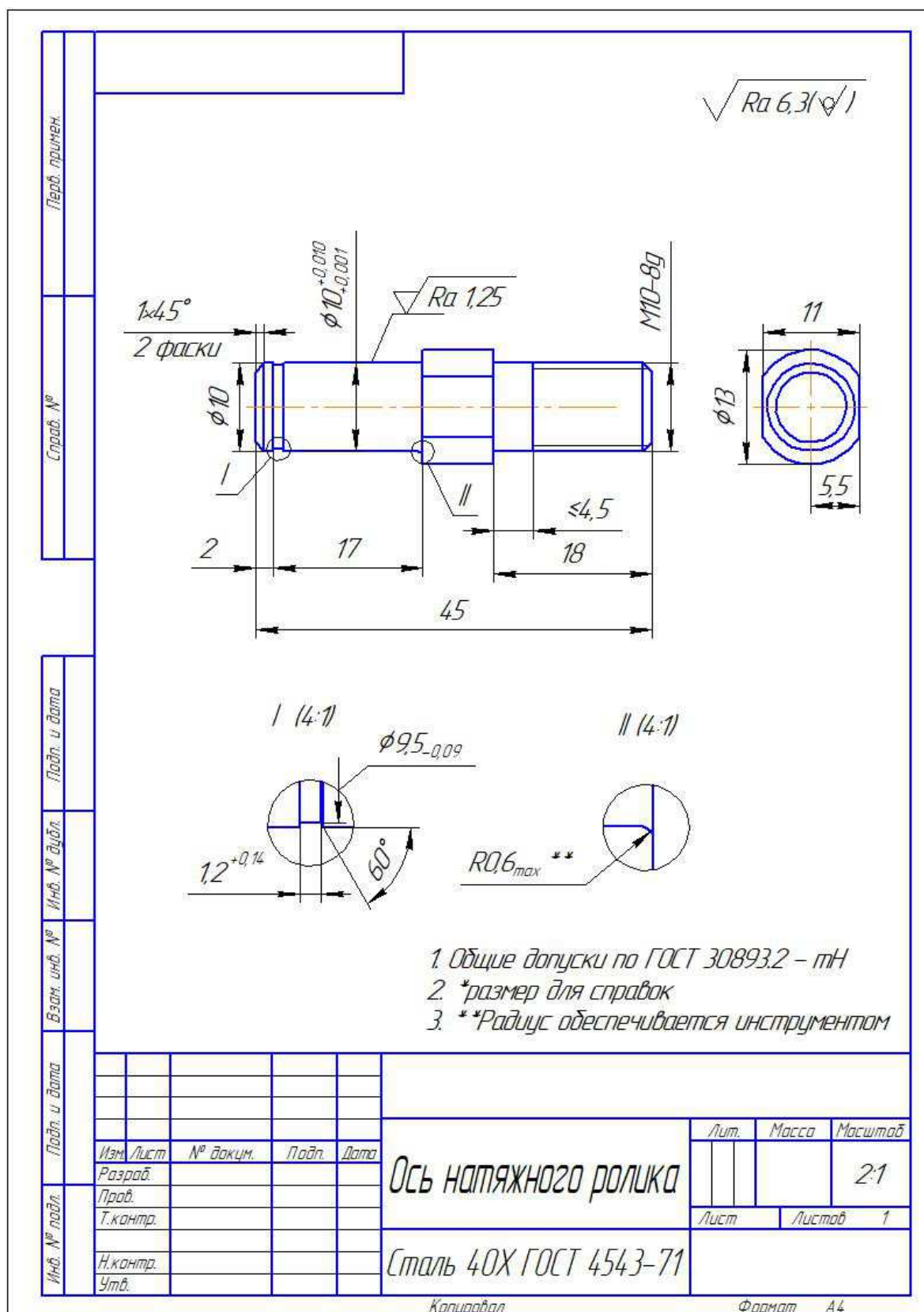


Введение сборки в разделе главного привода

На сборочном чертеже показана общая компоновка токарного станка, общий размер которого составляет 420 * 450 * 380 мм. И на рисунке показана посадки между шпинделем, подшипникам и седлом подшипника. Закрепление седла подшипника на деревянном корпусе станка с шурупами. Шпиндель и шкив соединены шпонкой, а выступающий вал двигателя и шкив соединены крепежным винтом. Таким образом движение можно перенести с двигателя на шпиндель. Кронштейн двигателя также крепится к основанию токарного станка с помощью шурупов. Чтобы обеспечить жесткость кронштейна, была проведена жесткая поддержка с обеих сторон. Двигатель закреплен на кронштейне винтами и гайками. Кроме того, для обеспечения эффективности передачи ремня разработано устройство для прижима ремня. Закрепите ось натяжного ролика в U-образной канавке кронштейна двигателя, установите на него подшипник качения и выполните сжатие ремня через подшипник. Чтобы предотвратить помехи между осями направляющей и ремнем во время процесса подачи, мы подняли двигатель с помощью деревянных блоков, которого размера 40*40*40 мм. И используйте шуруп, чтобы закрепить несущее угловое железо и деревянный кубик на основании токарного станка.

На приведенном ниже рисунке показана структура несущего углового железа, оси натяжного ролика и деревянного кубика. Конструкция и сборка остальных частей упомянуты в тексте.

Перо, паилен																																		
Справ. №																																		
Подп. и дата	<p>1. Общие допуски по ГОСТ 30893.2 – тН</p> <p>2. *размер для справки</p>																																	
Взам. инв. №																																		
Подп. и дата	<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr> <td style="width: 10%;">Изм.</td> <td style="width: 10%;">Лист</td> <td style="width: 10%;">№ док-м.</td> <td style="width: 10%;">Подп.</td> <td style="width: 10%;">Дата</td> </tr> <tr> <td>Разраб.</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>Проб.</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>Т.контр.</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>Н.контр.</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>Утв.</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> </table>				Изм.	Лист	№ док-м.	Подп.	Дата	Разраб.					Проб.					Т.контр.					Н.контр.					Утв.				
Изм.					Лист	№ док-м.	Подп.	Дата																										
Разраб.																																		
Проб.																																		
Т.контр.																																		
Н.контр.																																		
Утв.																																		
Инв. № подл.	<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr> <td style="width: 10%;">Лит.</td> <td style="width: 10%;">Масса</td> <td style="width: 10%;">Масштаб</td> </tr> <tr> <td></td> <td></td> <td>1:1</td> </tr> <tr> <td>Лист</td> <td>Листов</td> <td>1</td> </tr> </table>				Лит.	Масса	Масштаб			1:1	Лист	Листов	1																					
Лит.	Масса	Масштаб																																
		1:1																																
Лист	Листов	1																																
<p>Железо угловое</p> <p>Сталь Ст3 ГОСТ 380-2005</p>																																		
<p>Копировал: _____ Формат: А4</p>																																		



Перв. примен.										
Справ. №										
Подп. и дата										
Инв. № дубл.										
Взам. инв. №										
Подп. и дата										
Инв. № подл.										

$\sqrt{Ra\ 25(\sqrt{1})}$

1. Общие допуски по ГОСТ 30893.2 – тН

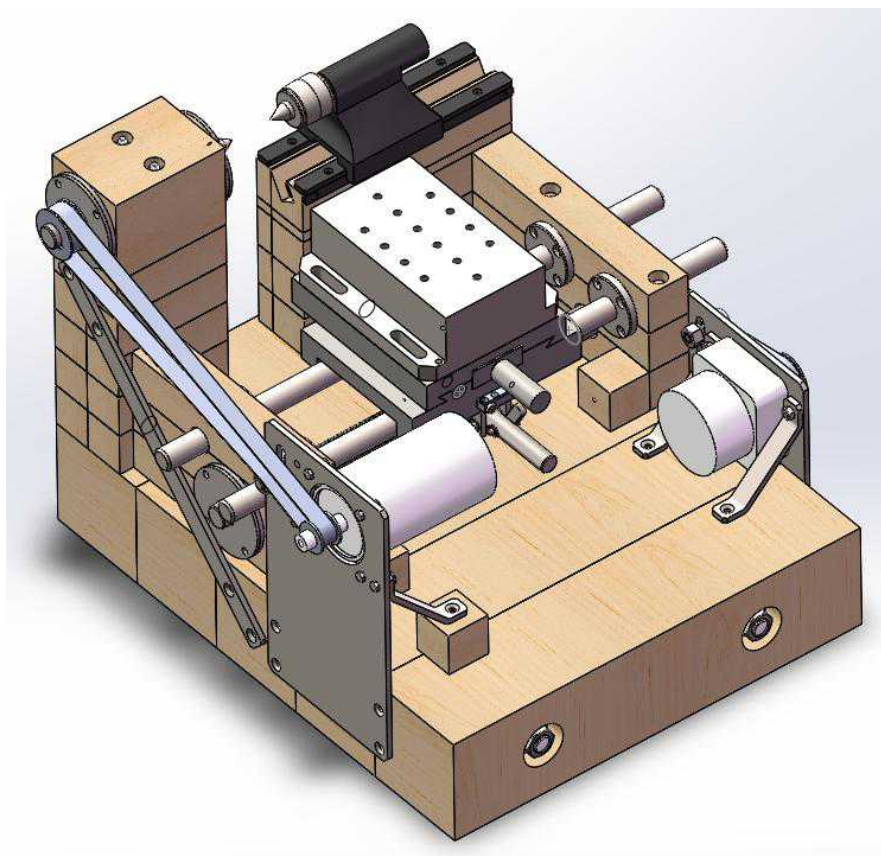
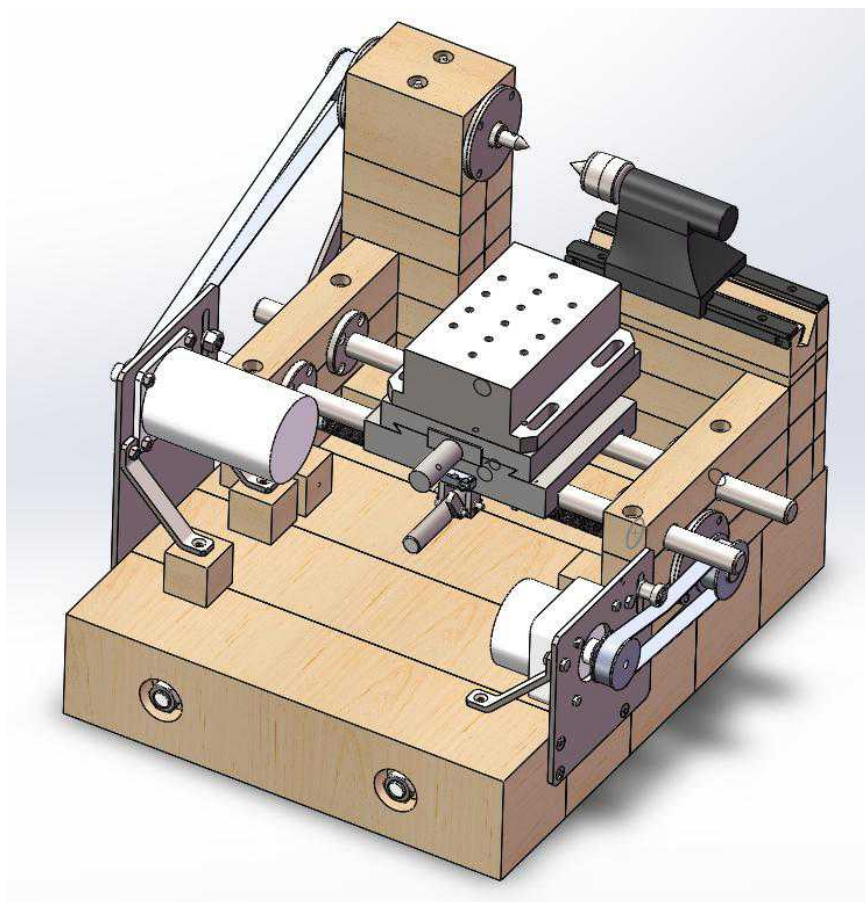
2. *размер для справки

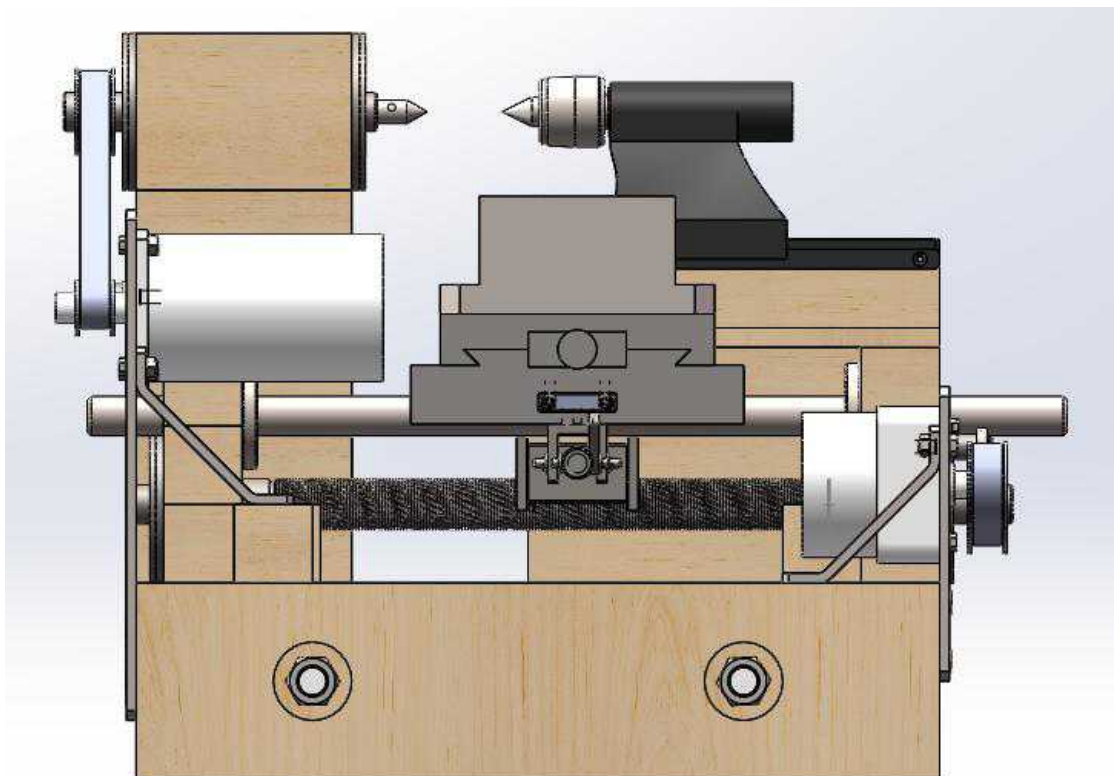
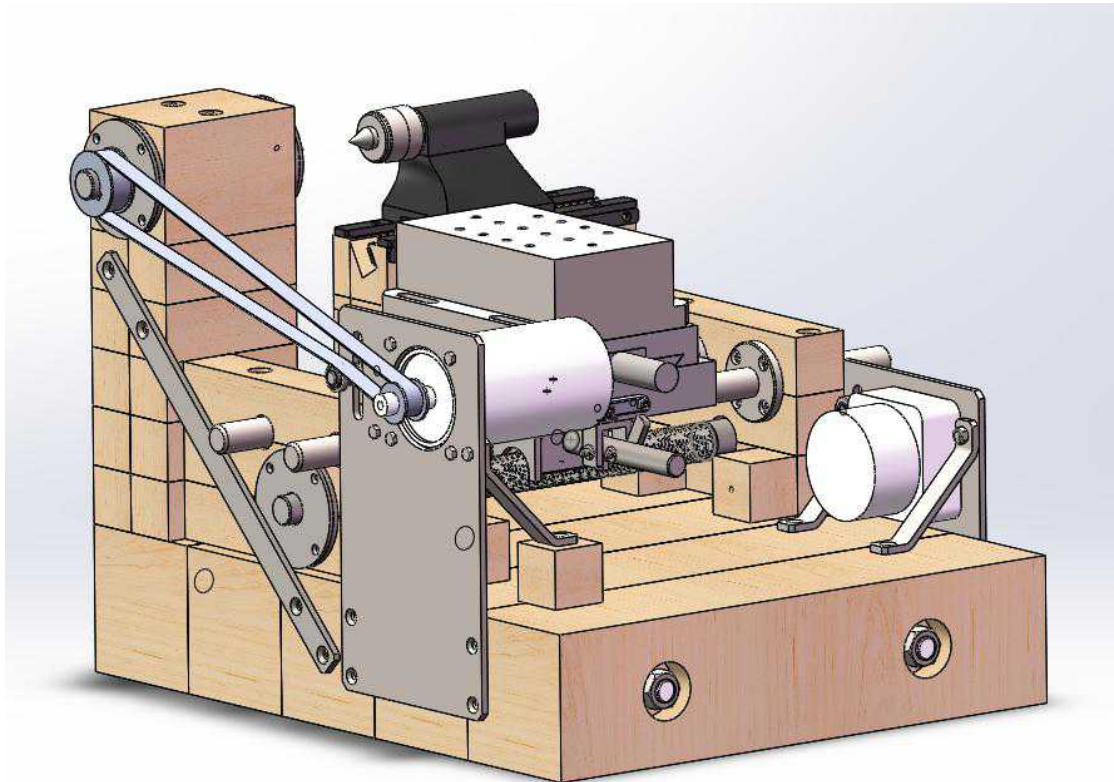
Изм.	Лист	№ докум.	Подп.	Дата	<h2 style="margin: 0;">Брусок №2</h2> <h3 style="margin: 0;">Дерево ГОСТ 8486-86</h3>					
Разраб.										
Проб.										
Т.контр.										
Н.контр.										
Утв.										

Лит.	Масса	Масштаб
1	1	1:1
Лист	Листов	1

Копировад
Формат А4

3D модель станка





Приложение 2

Спецификация деталей

Наименование	Материал	Общие размеры, мм	Количество	Примечание
Брусok	Дерево	100 × 100 × 2500	1	Для брусков №4-8
Брусok	Дерево	40 × 40 × 2000	2	Для брусков №1-3, 9-13
Лист	Сталь Ст3	220 × 120 × 3	1	Для прутков №3,5 и крышки
Лист	Сталь Ст3	450 × 300 × 5	1	Для упоров №1-1,1-2,1-3, опоры, прутков №4,6,7, кронштейнов №3,4, железа углового
Параллелепипед	Сталь 40X	Больше 50 × 50 × 40	1	Для гайки
Параллелепипед	Сталь Ст3	Больше 30 × 30 × 15	1	Для кронштейна №5
Круг	Сталь Ст3	Ø8 × 100	1	Для винта №2 и прутков №1,2
Круг	Сталь 40X	Ø85 × 60	1	Для стаканов
Круг	Сталь 40X	Ø18 × 300	1	Для оси натяжного ролика, рычага и упора №2
Круг	Сталь 40X	Ø28 × 700	1	Для винта и шпиндели
Круг	Сталь 40X	Ø22 × 1000	1	Для оси
Круг	Сталь 40X	Ø14 × 100	1	Для конуса инструмента
Шпильки		M16 × 1000	1	
		M5 × 1000	1	
		M5 × 2000	1	

Стандартные изделия			
Шурупы с потайной головкой ГОСТ 1145-80	d2,5×16	24	Шуруп 2 – 2,5×16
	d5×30	18	Шуруп 2 – 5×30
	d5×70	2	Шуруп 2 – 5×70
Шурупы с полукруглой головкой d5×20 ГОСТ 1144-80		16	Шуруп 2 – 5×20
Винты с шестигранной головкой ГОСТ Р ИСО 4017 – M16×16-8,8		10	
Винты с полукруглой головкой M3×16 ГОСТ 17473-80		8	
Винты с внутренним шестигранником M5×30 ГОСТ 11738-84		4	
Гайки шестигранные ГОСТ 5915-70	M5	24	
	M6	8	
	M8	2	
	M16	4	
Шайбы ГОСТ 11371-78	d3 s0,5	6	
	d5 s1	28	
	d6 s1,6	16	
	d8 s1,6	4	
	d16 s3	4	
Подшипники радиальные шариковые сферические двухрядные d20 ГОСТ 28428-90		4	Подшипник 1204 ГОСТ 28428-90
Подшипники шариковые радиальные однорядные d10 ГОСТ 8338-75		6	Подшипник 1000800 ГОСТ 8338-75
Кольца пружинные упорные плоские внутренние эксцентрические ГОСТ 13943-86 $D_{отв. 47}$		4	Кольцо 47 ГОСТ 13943-86
Кольца пружинные упорные плоские наружные эксцентрические ГОСТ 13942-86	$d_{вал} 10$	2	Кольцо 10 ГОСТ 13943-86
	$d_{вал} 20$	4	Кольцо 20 ГОСТ 13943-86